La mission spatiale BepiColombo

Percer les mystères de la planète Mercure.

Alain Doressoundiram

l'Observatoire de Paris | PSL

Au commencement…

- Caractéristiques à l'œil nu
  - Astre errant, très rapide!
  - Astre très brillant
  - L'un visible avant l'aube, l'autre après le crépuscule.
- Exotisme
  - Apparitions notées par les assyriens dès le XXe siècle avant notre ère.
  - Pour les Grecs : *Apollon* (aube) et Hermès (crépuscule), unifiés par Pythagore.
  - Pour les chinois : « Chin-Sing, la planète de l'heure.
  - dans la culture polynésienne : "taero", qui signifie "empoisonné, saoul", comme quelqu'un qui titube, une fois à droite, une fois à gauche… du soleil

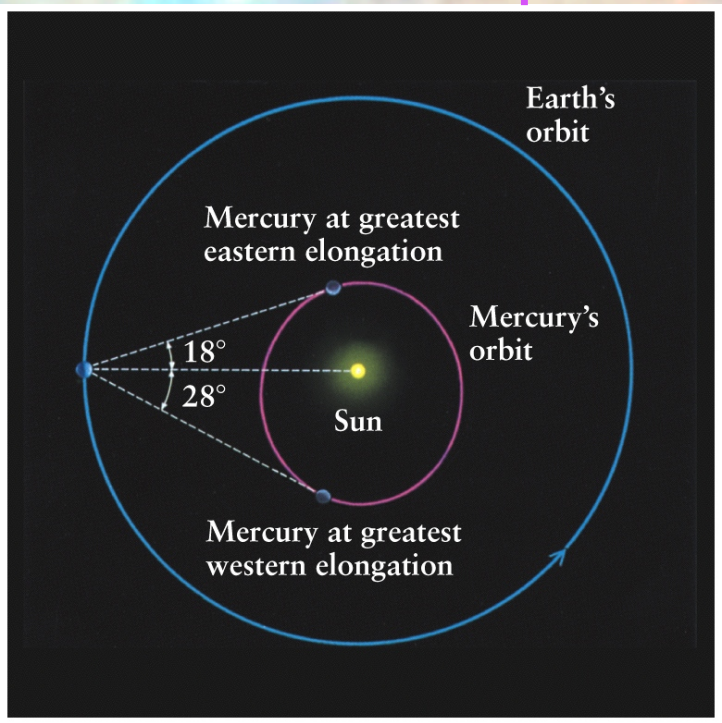
Alain Doressoundiram

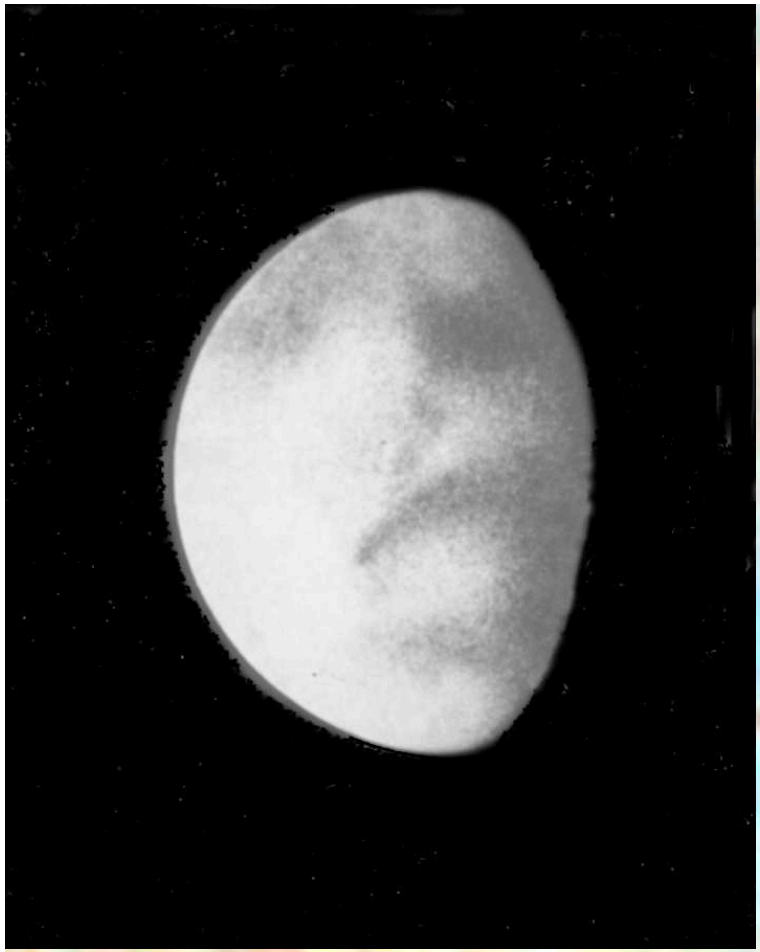
Mercure au crépuscule

Mercure à l'aube

Une planète longtemps méconnue… … bientôt dans la lumière

- identifiée depuis la plus haute antiquité
- Difficilement observable
- 1630 : Hortensius observe les phases de la planète.

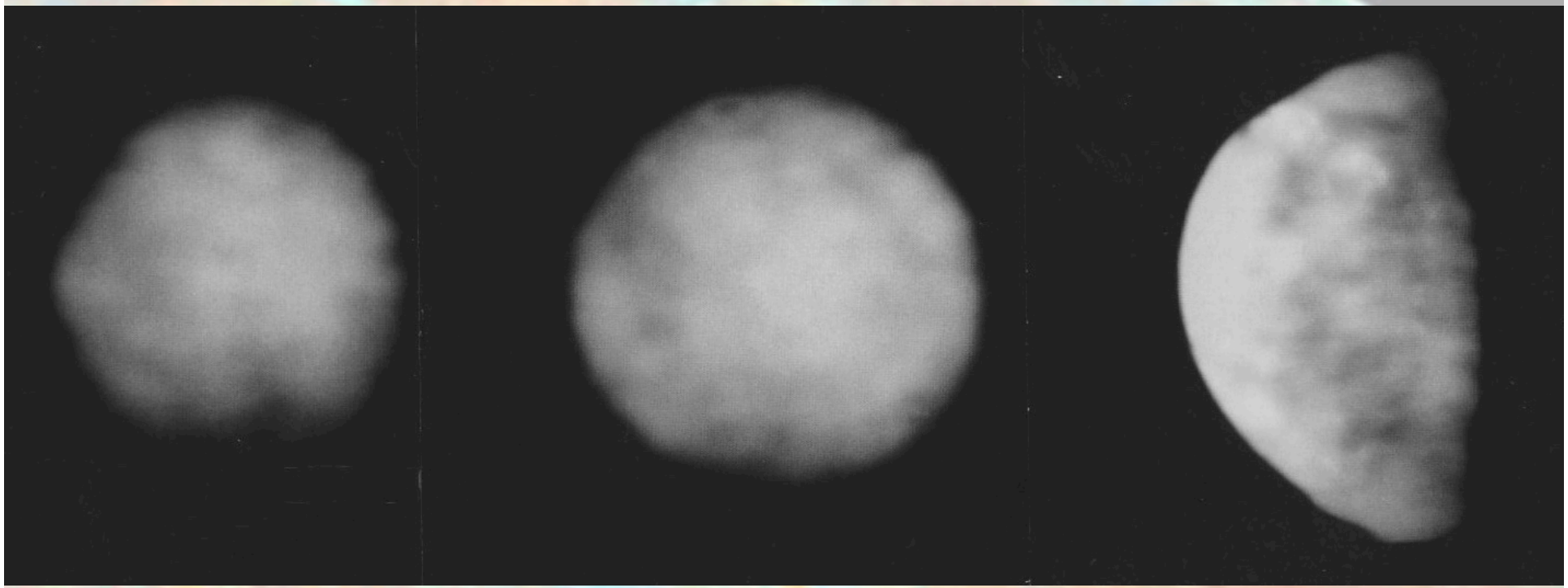




Dessin de Eugène Antoniadi
Grande lunette de Meudon
27 octobre 1927

Dessin de Focas
Pic du Midi
7 mars 1966

Alain Doress



16 Juillet 1942 6 août 1942 10 août 1942

Photographies Henri Camichel
Pic du midi
Lunette de 38cm

Une planète encore méconnue…
… bientôt dans la lumière

- identifiée depuis la plus haute antiquité
- Difficilement observable
- 1630 : Hortensius observe les phases de la planète.

----------*ère spatiale*----------

- 1974-1975 : Mercure est approchée par la sonde spatiale Mariner 10.
- 2011-2015: Messenger (NASA) en orbite

Une planète encore méconnue… … bientôt dans la lumière

- identifiée depuis la plus haute antiquité
- Difficilement observable
- 1630 : Hortensius observe les phases de la planète.

----------*ère spatiale*----------

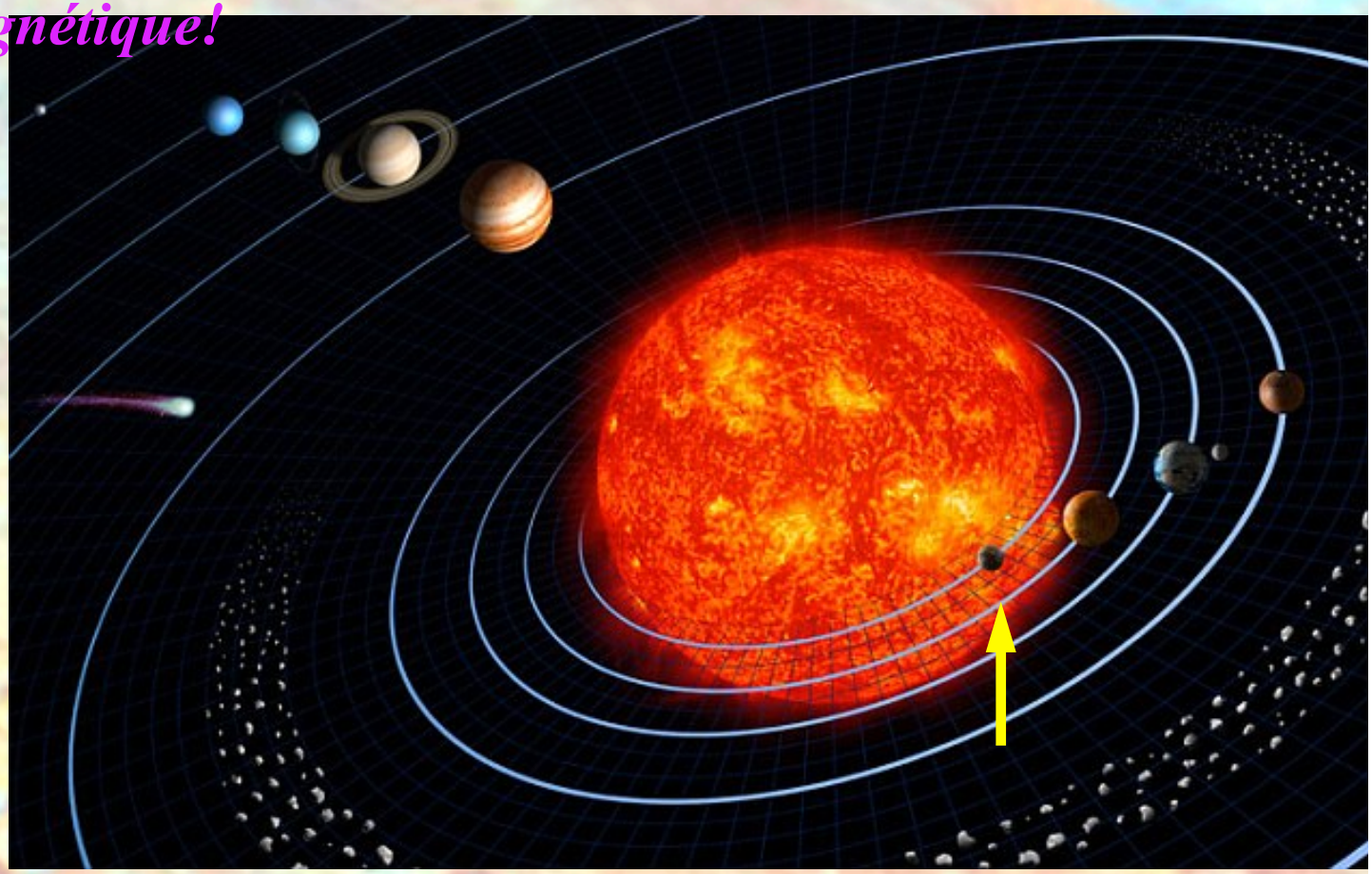
- 1974-1975 : Mercure est approchée par la sonde spatiale Mariner 10.
- 2011-2015: Messenger (NASA) en orbite

----------*le futur*----------

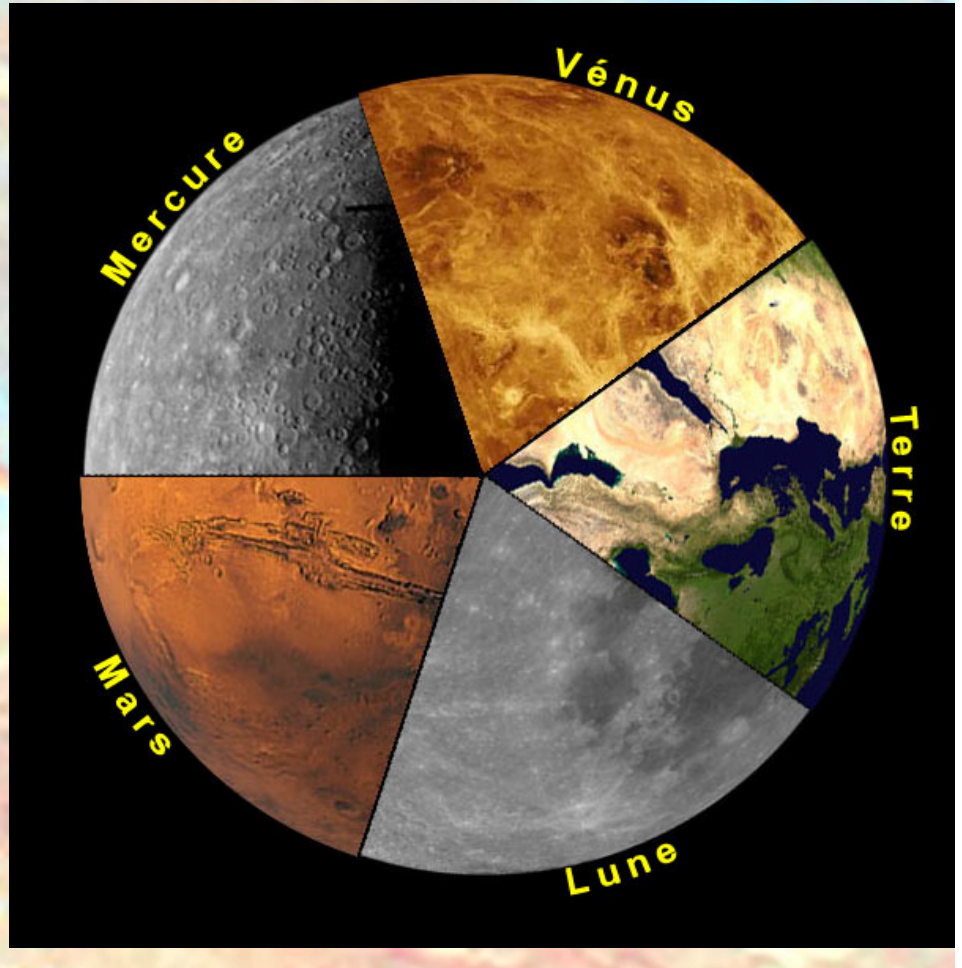
- 2025: BepiColombo (ESA/JAXA) en orbite

Mercure

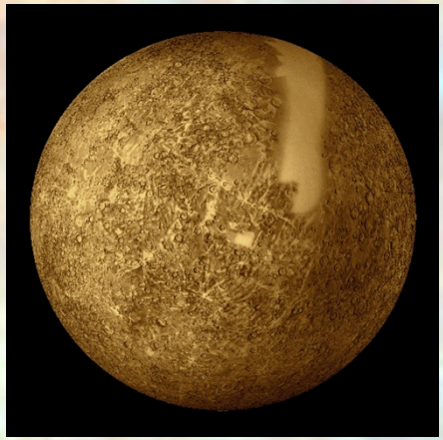
- *3 fois plus petite que la Terre*
- *Année = 3 mois (la planète « rapide »)*
- *Pas d'atmosphère*
- *Surface rocheuse sans activité volcanique présente*
- *Surface couverte de cratères*
- *Un champ magnétique!*



La moins connue des planètes de type terrestre



Planétologie comparée: Mercure vs. Terre



Mercure vue par Mariner 10

	Mercure	Terre
Distance (millions km)	46-70	147-152
D (km)	4880	12756
M (10^{24} kg)	0,33	5,97
V_e (km/s)	4,3	11,2
P (bars)	10^{-12}	1
T (°C)	Min: -180 Max: +430	Min: -89 Max: +60
B (nT)	≈3 x 10^2	3 x 10^4

Hypothèse reconnue:

Les conditions initiales étaient les mêmes.

Puis les planètes ont évolué différemment.

Deux histoires divergentes

Mercure

Terre

État initiaux semblables : ~ qq bar ;

Composition majoritaire : CO_2, N_2, H_2O, gaz nobles

Proximité Soleil ET petite taille

- Echappement des gaz
- Fin volcanisme
- Surface très cratérisée

Quasi absence d'atmosphère

T_{surf} ~ 180 °C

Éloignement du Soleil ET taille

- Atmosphère stable
- Condensation des océans
- Photosynthèse (→ O_2)

P_{surf} ~ 1 bar

T_{surf} ~ 15 °C

Composition : 78 % N_2 ; 21 % O_2

Traces : H_2O, CO_2, O_3, CH_4, nobles

Une étrangeté: La résonance 3:2

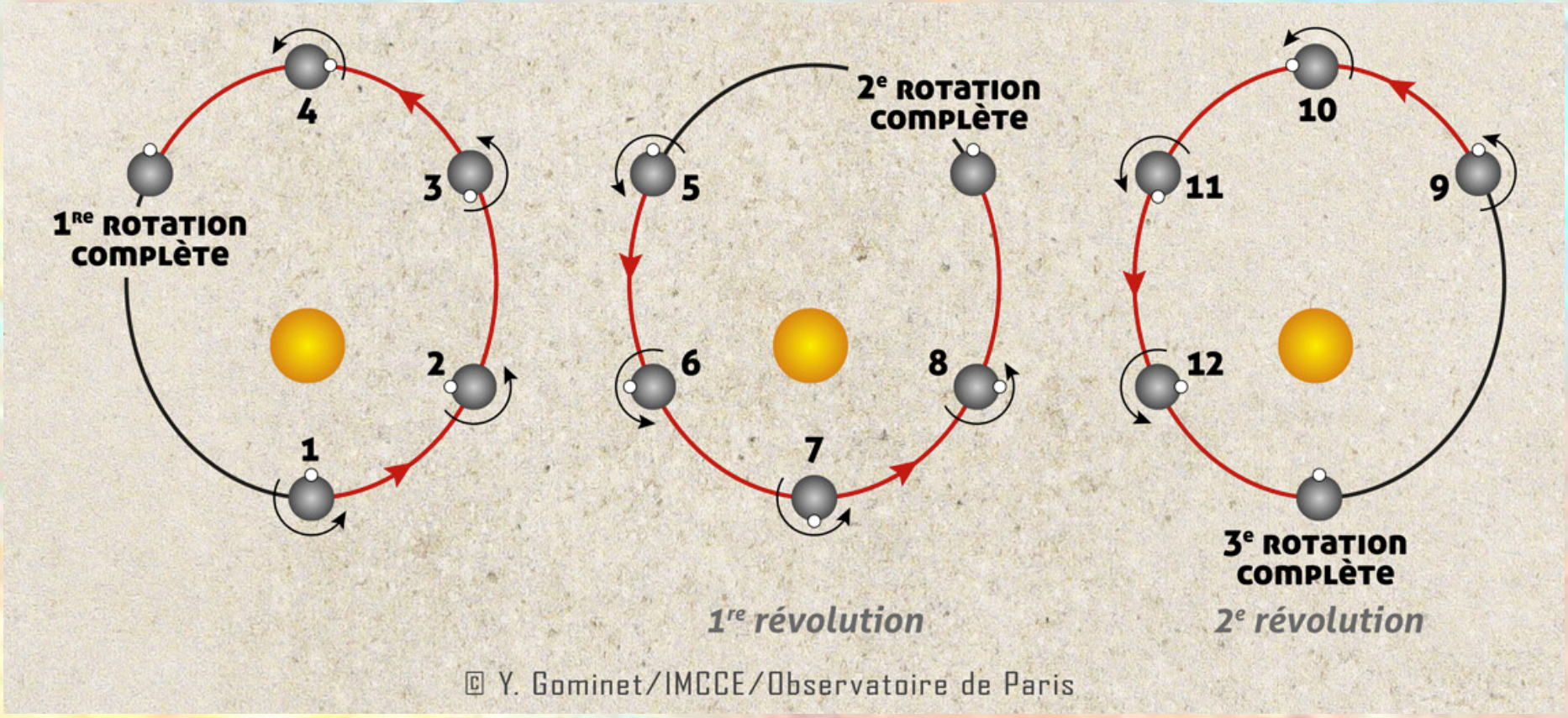
Jour sidéral et année

Mercure tourne sur elle-même en ≈59 jours terrestres.

Une année dure ≈88 jours terrestres

3 x 59 ≈ 2 x 88 => resonance 3:2 spin - orbite

Orbite très elliptique



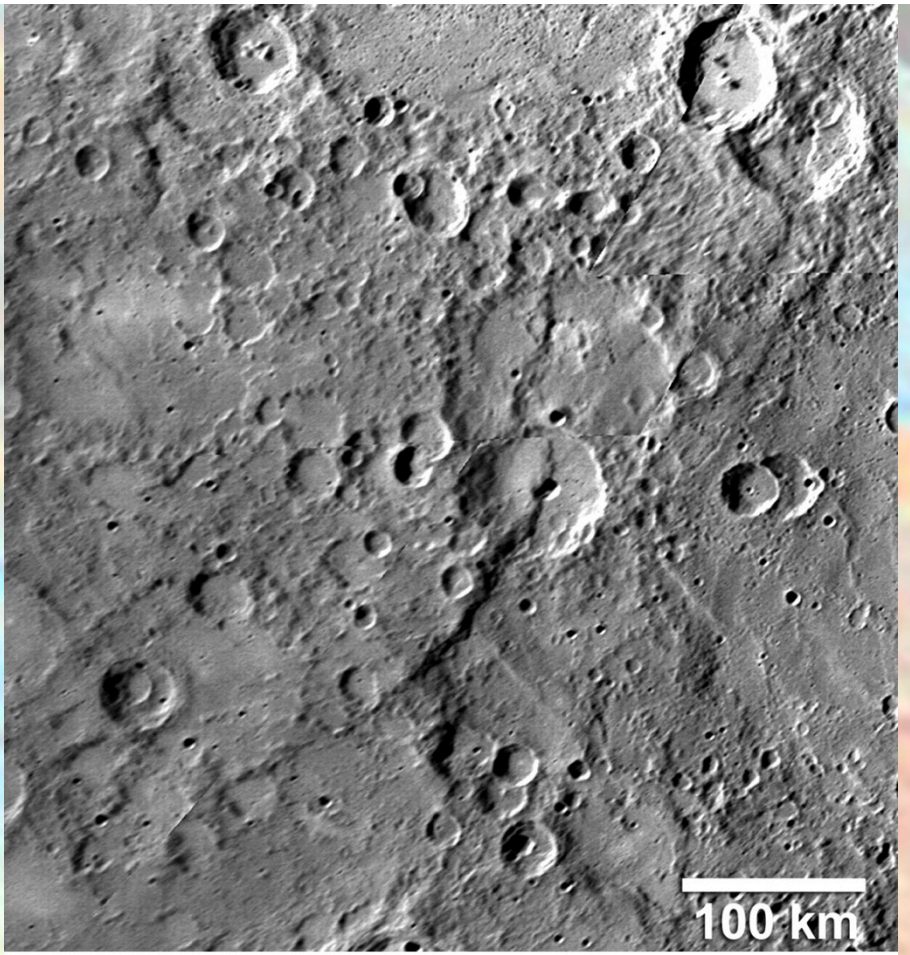
1 jour sur Mercure = 2 années de Mercure
= 176 jours terrestres !

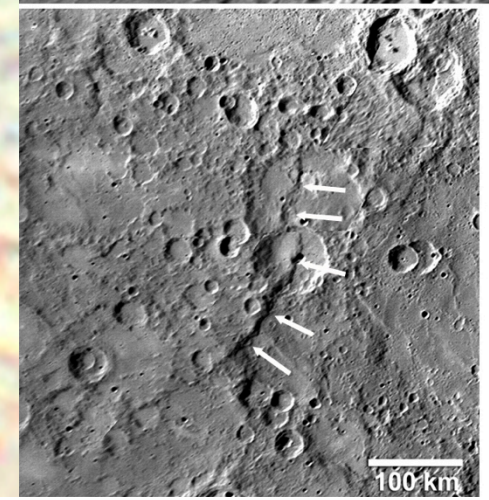
Une journée sur Mercure…

Une tectonique étonnamment active

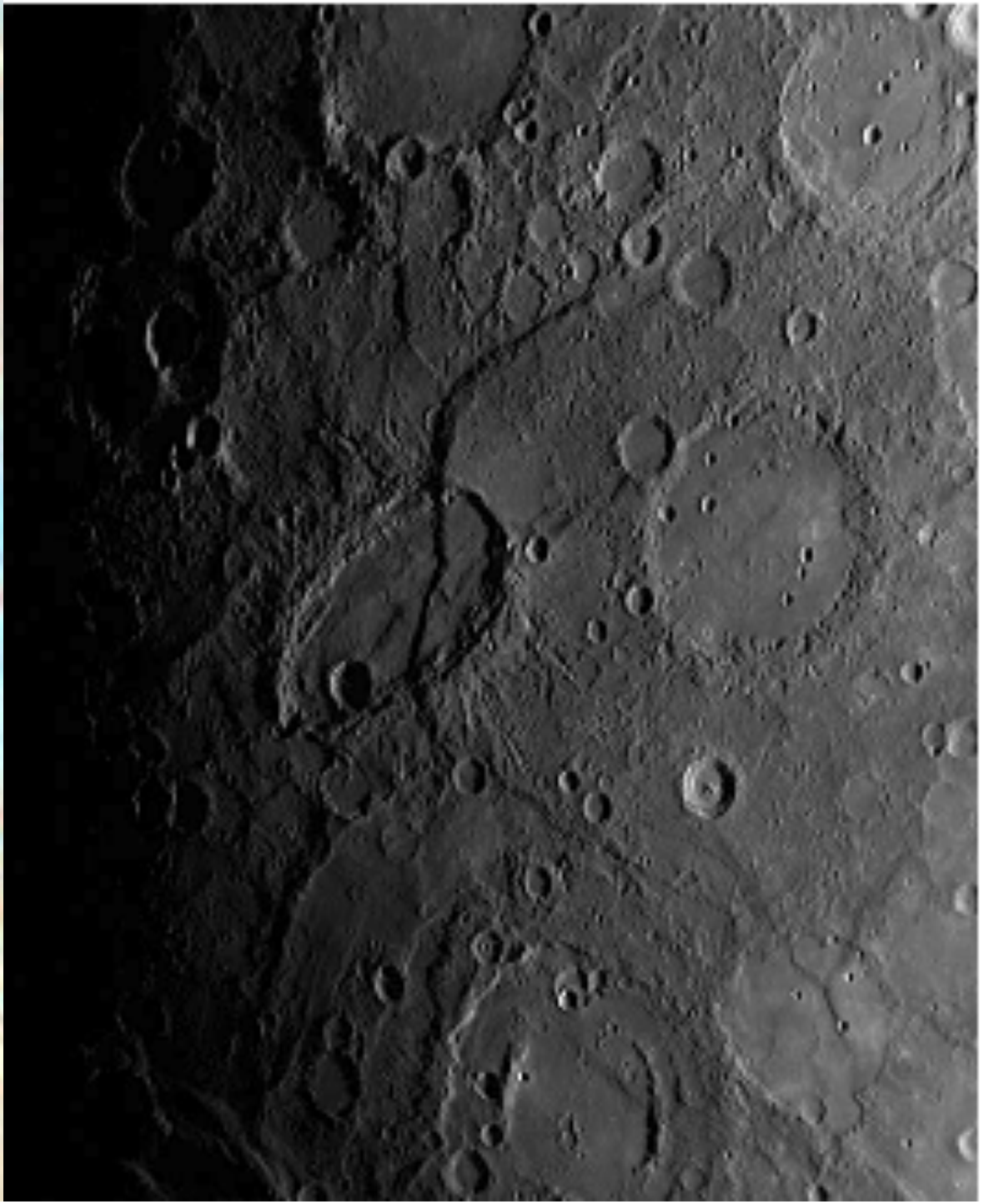
Fait unique parmi les planètes telluriques, Mercure semble avoir rétréci

Un escarpement long de 270 km

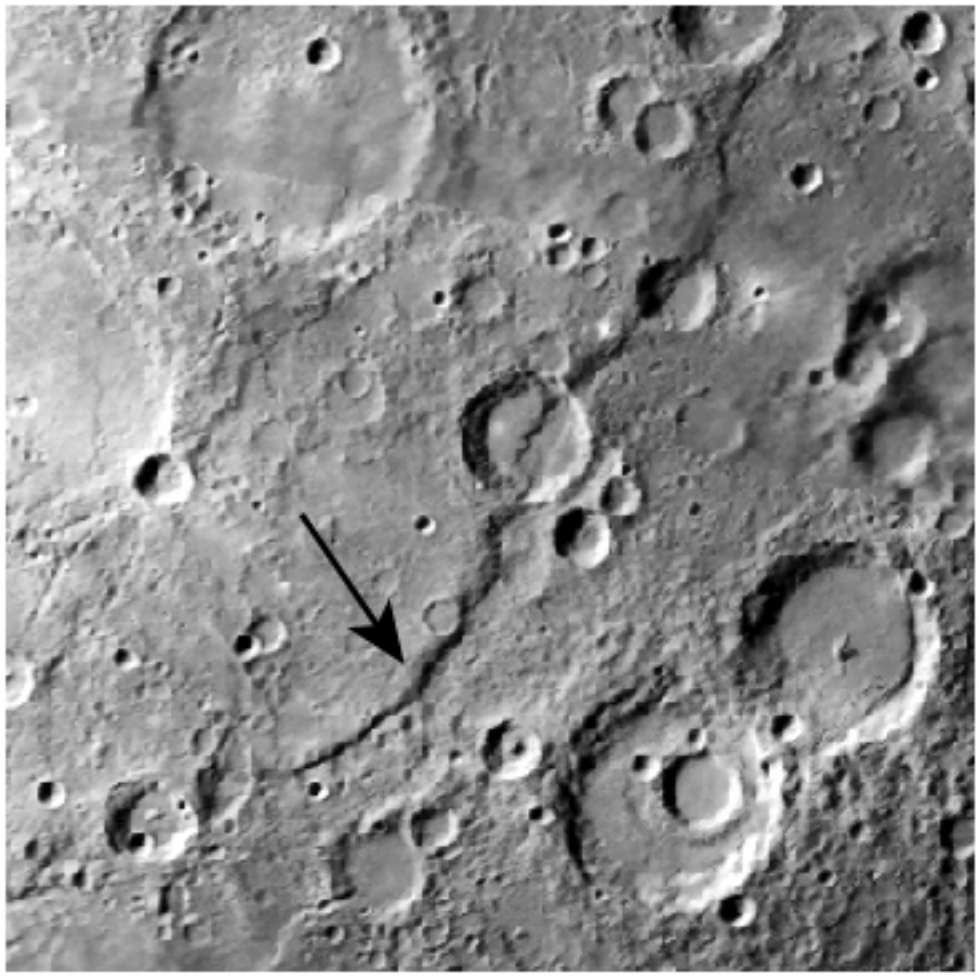




Beagle Rupes
Long de plus de 600 km

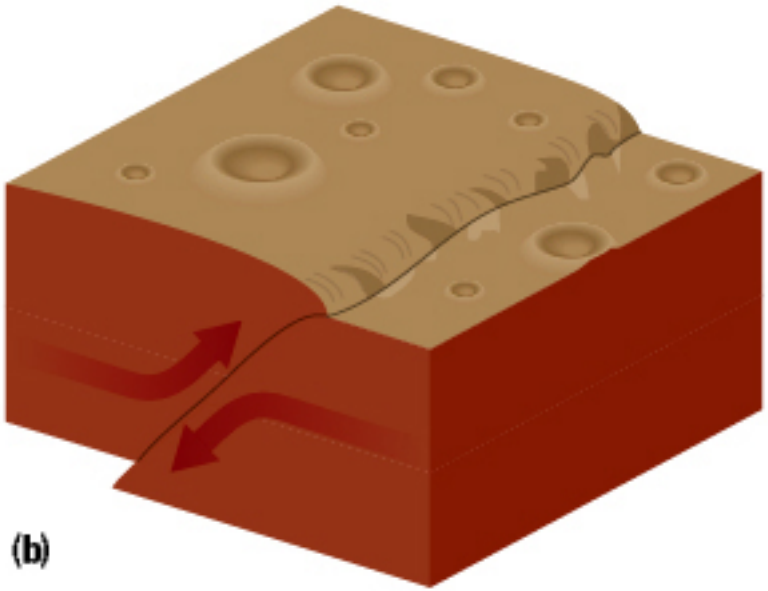


Escarpements lobées



(a)

NASA/Mariner 10



(b)

- Refroidissement du noyau de fer
- Contrainte sur la durée et l' évolution thermique

Copyright © Addison Wesley

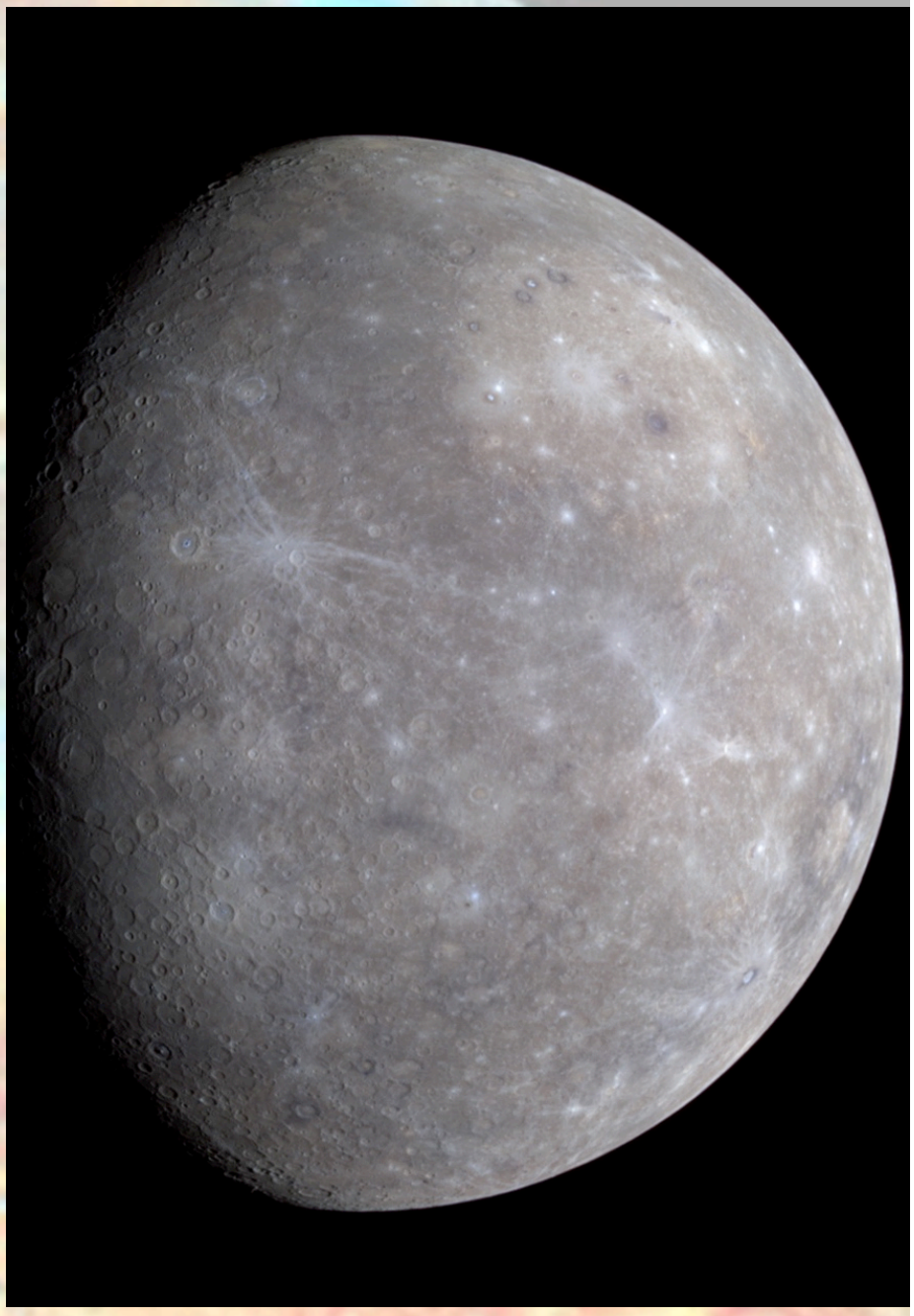
Ce qu'a découvert la sonde Messenger…
Et les questions toujours en suspens

Composition

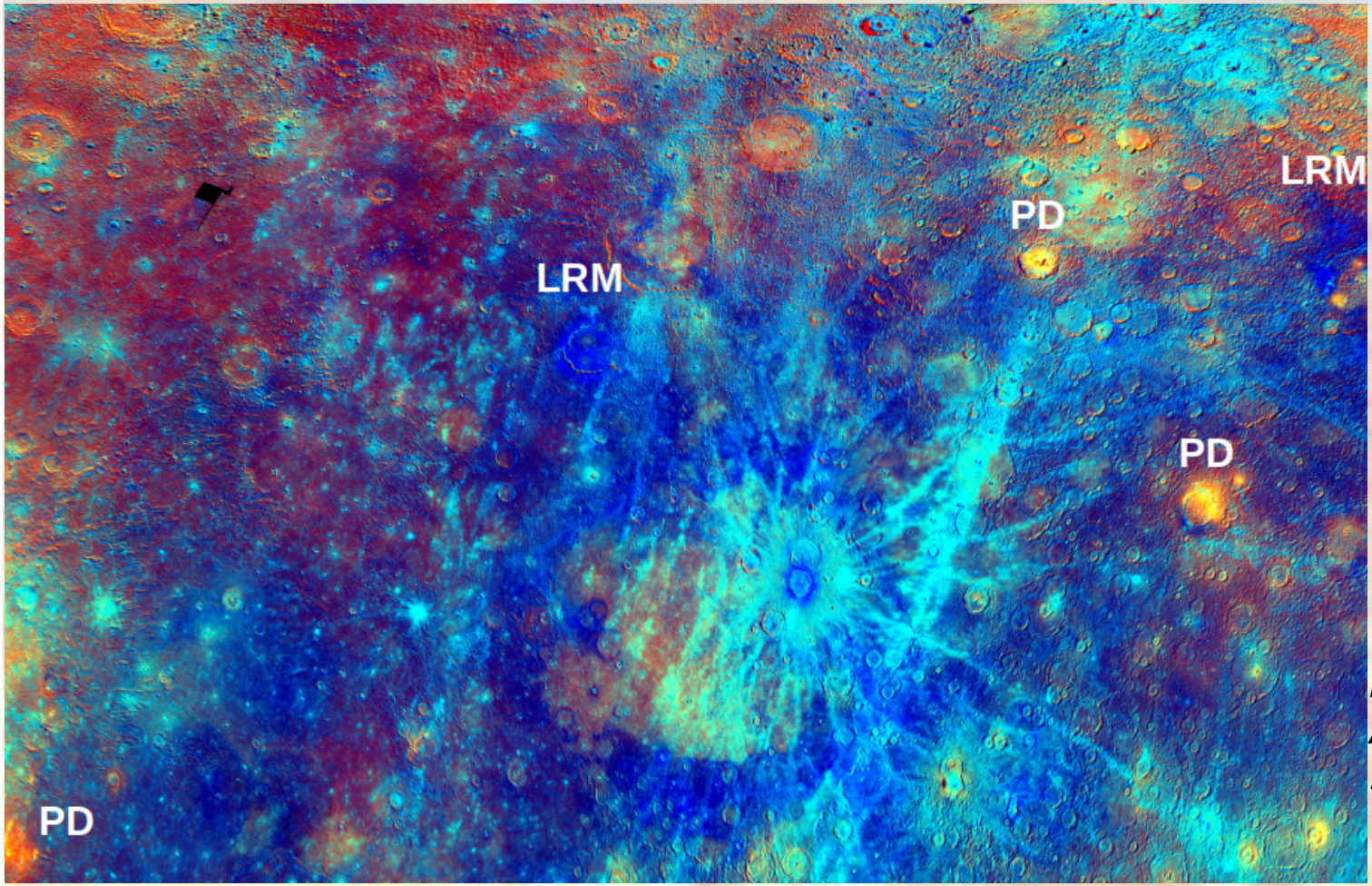
Comme pour la Terre, on s'attend à ce que la croûte et le manteau contiennent une mixture de fer et silicates.

Les observations actuelles montrent que la surface est dépourvue de fer

A première vue, très homogène...



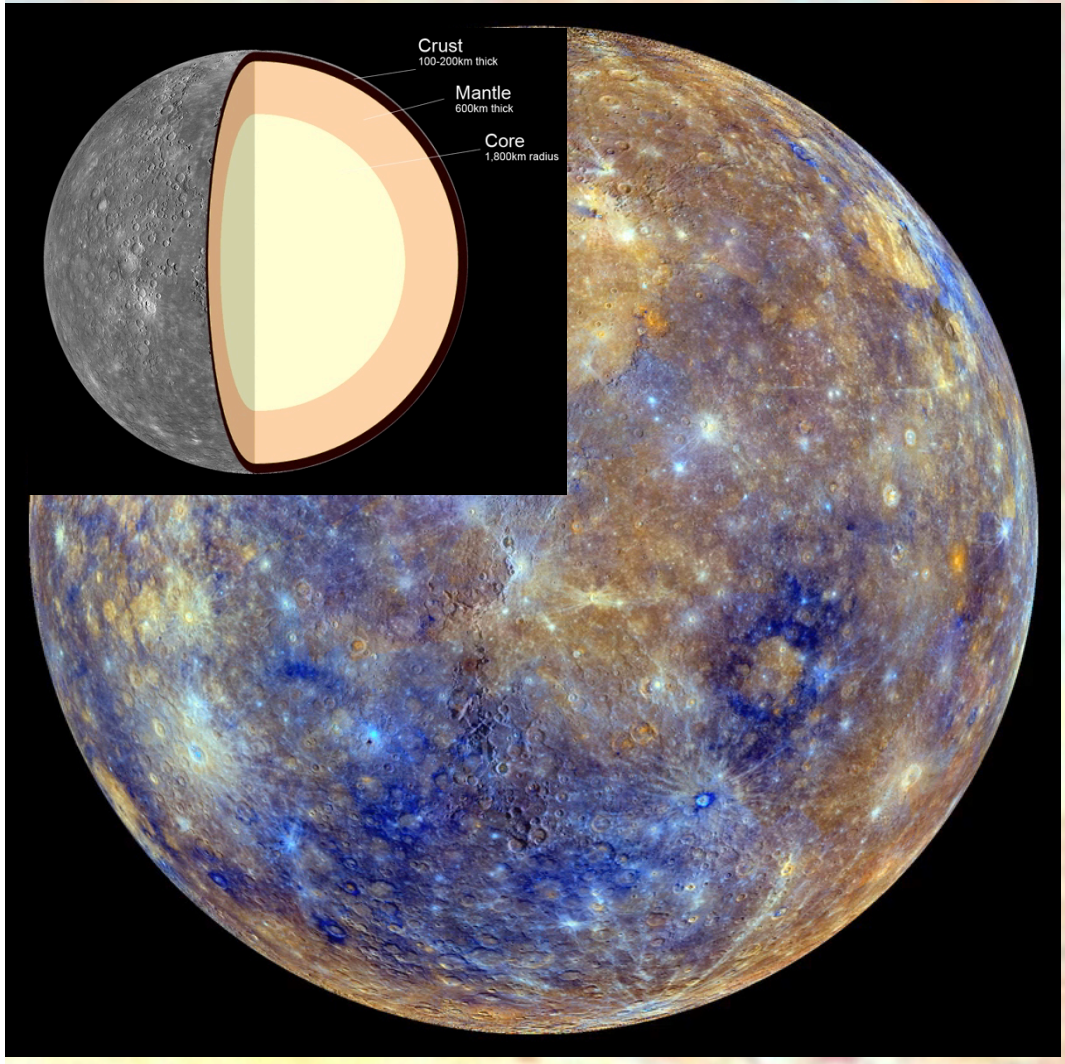
La région de Shakespeare sur Mercure : traitement fin des données Messenger (NASA)



Nicolas Bott
Alain Doressoundiram
2019

Traitement statistique, méthode d'analyse par composantes principales (ACP)
Image à partir de 8 filtres

Mercure: planète atypique et mystérieuse

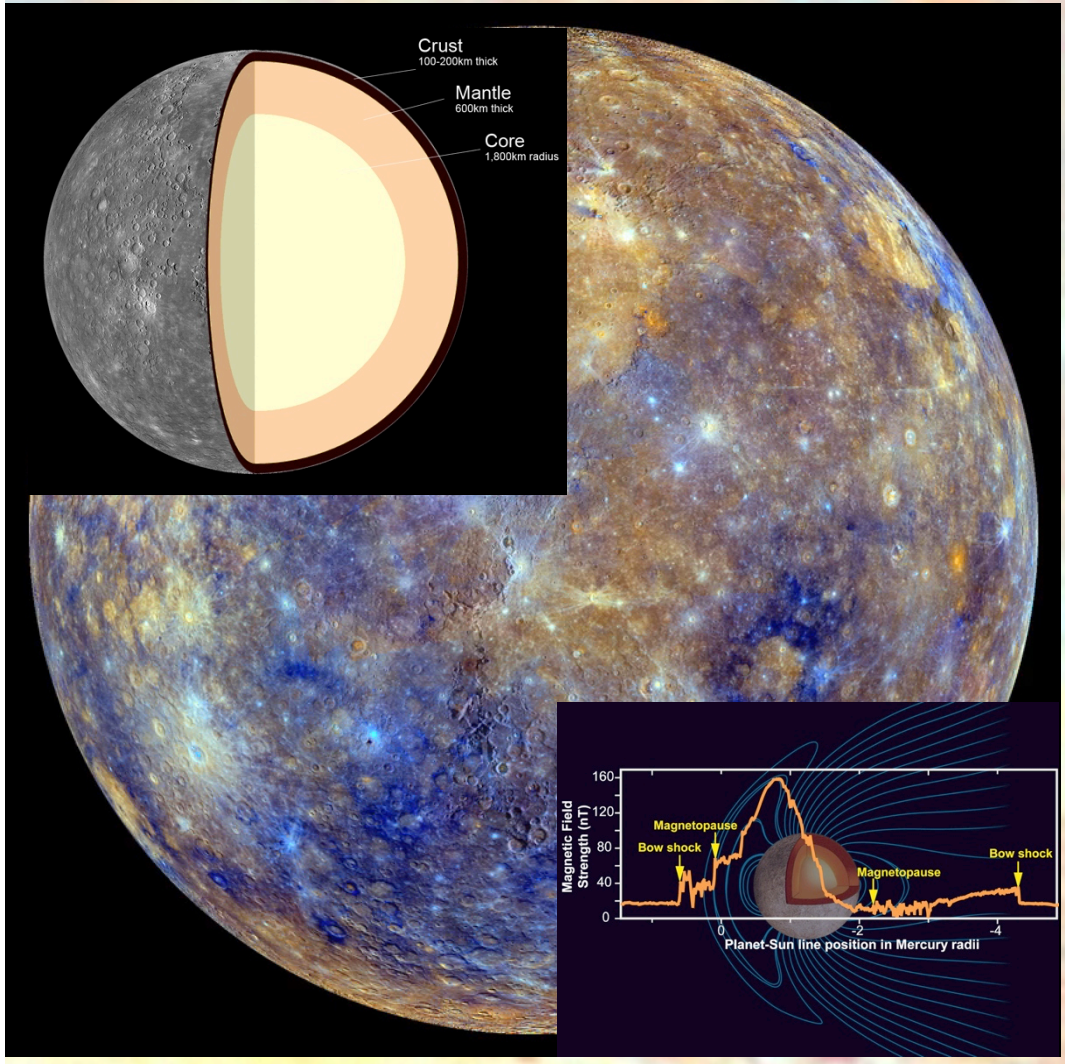


Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Les modèles d'évolution planétaire prédisent que le noyau de Mercure est froid ou solide

=> Pas de champ magnétique (pas de dynamo)

Mercure: planète atypique et mystérieuse



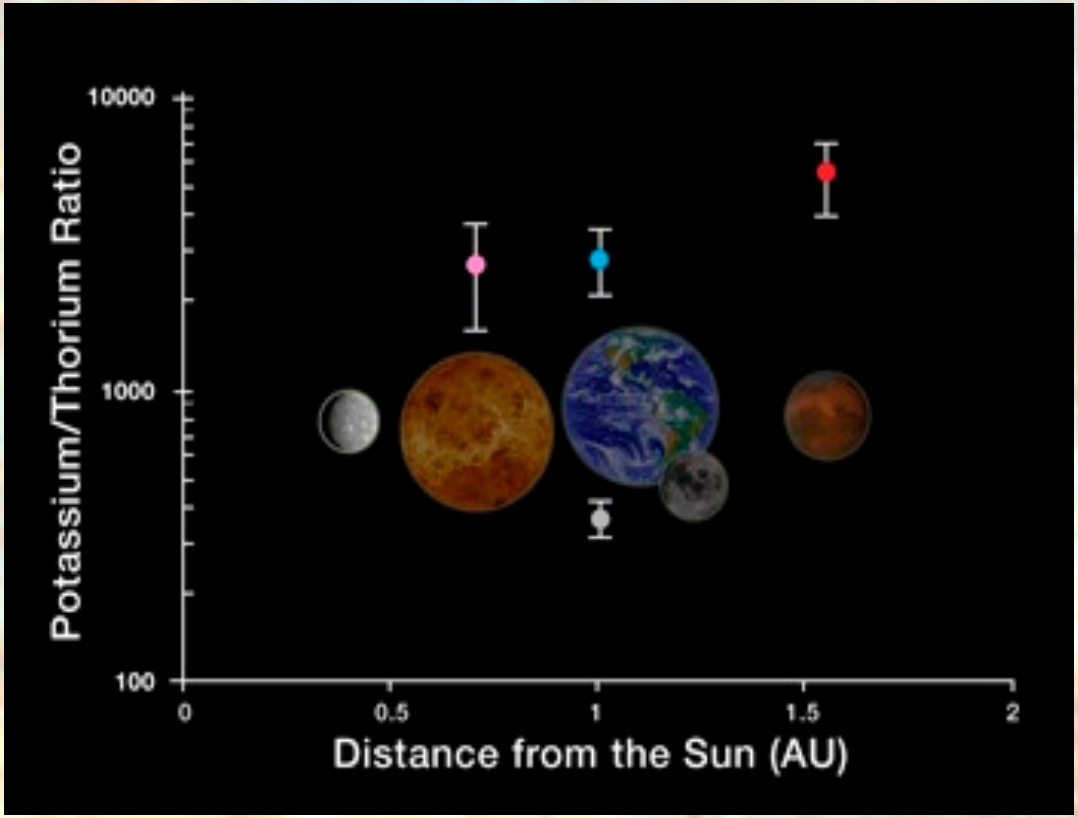
Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Les modèles d'évolution planétaire prédisent que le noyau de Mercure est froid ou solide

=> Pas de champ magnétique (pas de dynamo)

La mission Messenger (NASA) découvre un champ magnétique de type terrestre

Mercure: planète atypique et mystérieuse

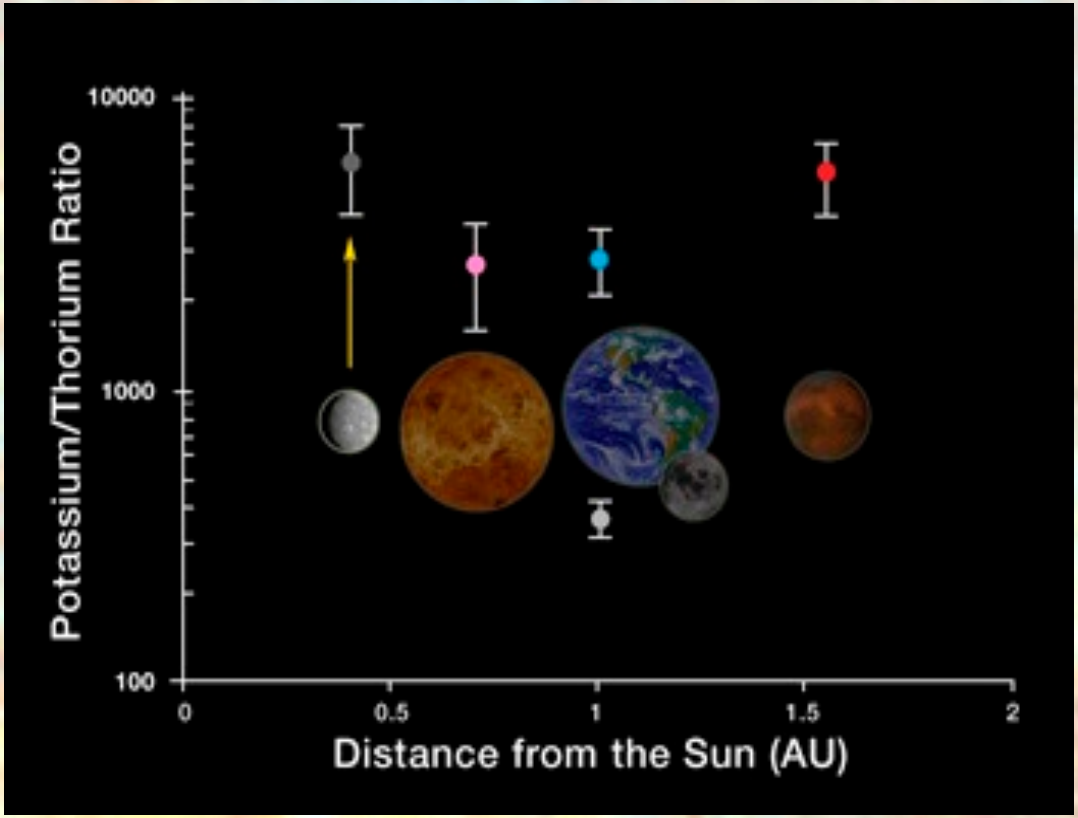


Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Le rapport Potassium/Thorium donne la proportion de volatiles (gaz) qui peut être trouvée à la surface.

=> L'objectif est de valider les modèles de formation existants

Mercure: planète atypique et mystérieuse



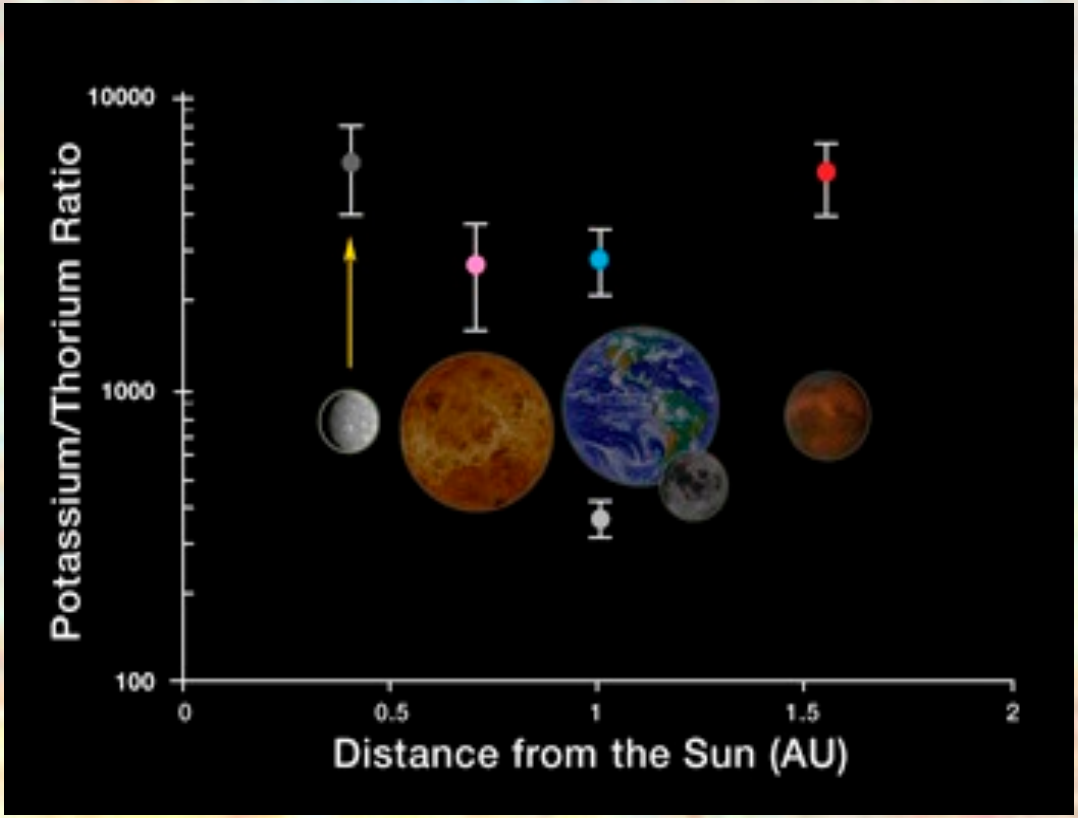
Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Le rapport Potassium/Thorium donne la proportion de volatiles (gaz) qui peut être trouvée à la surface.

=> L'objectif est de valider les modèles de formation existants

La mission Messenger (NASA) trouve un rapport Potassium/ Thorium plus élevé que prévu

Mercure: planète atypique et mystérieuse



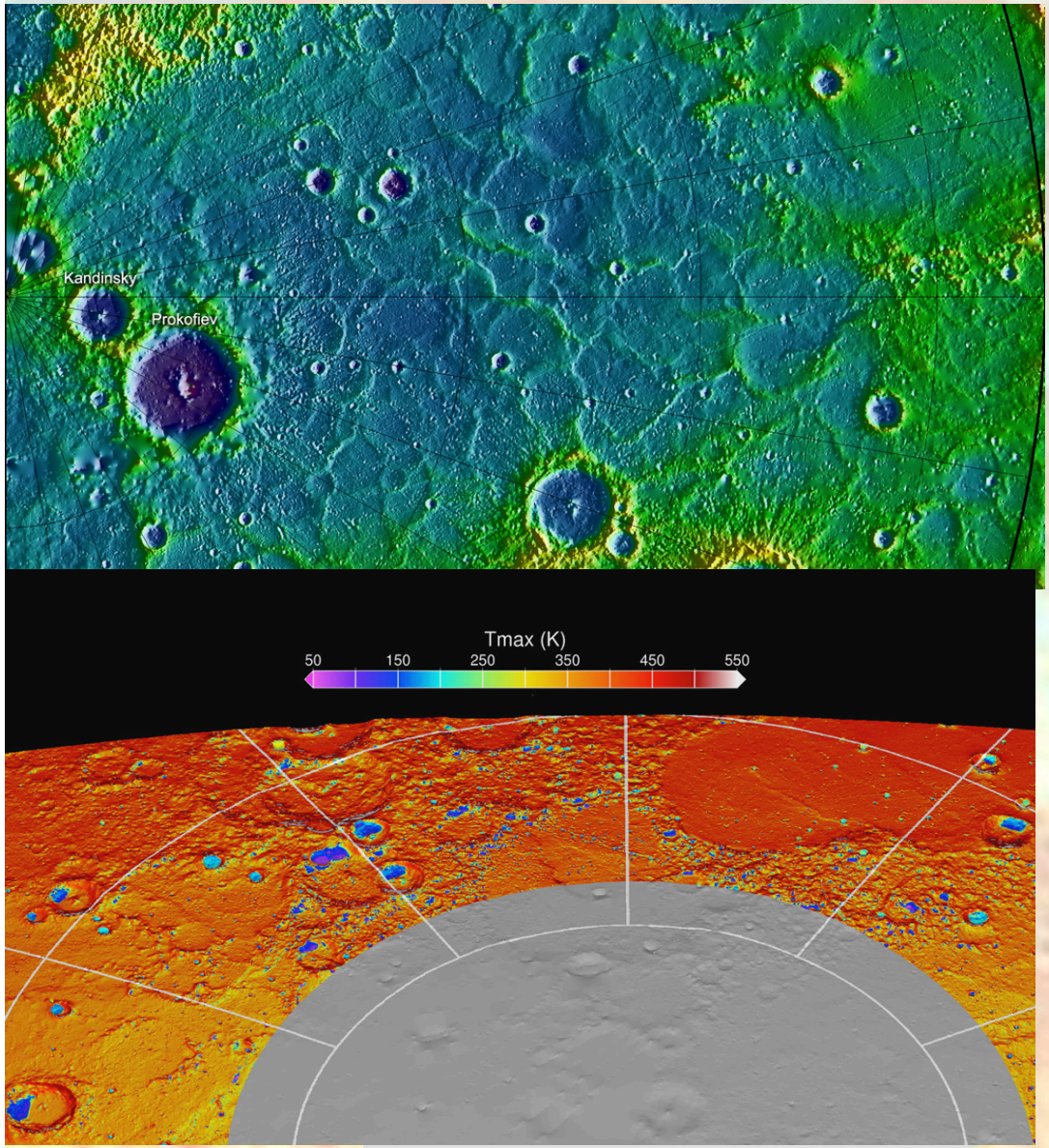
Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Le rapport Potassium/Thorium donne la proportion de volatiles (gaz) qui peut être trouvée à la surface.

=> L'objectif est de valider les modèles de formation existants

Tous les modèles doivent maintenant être revues

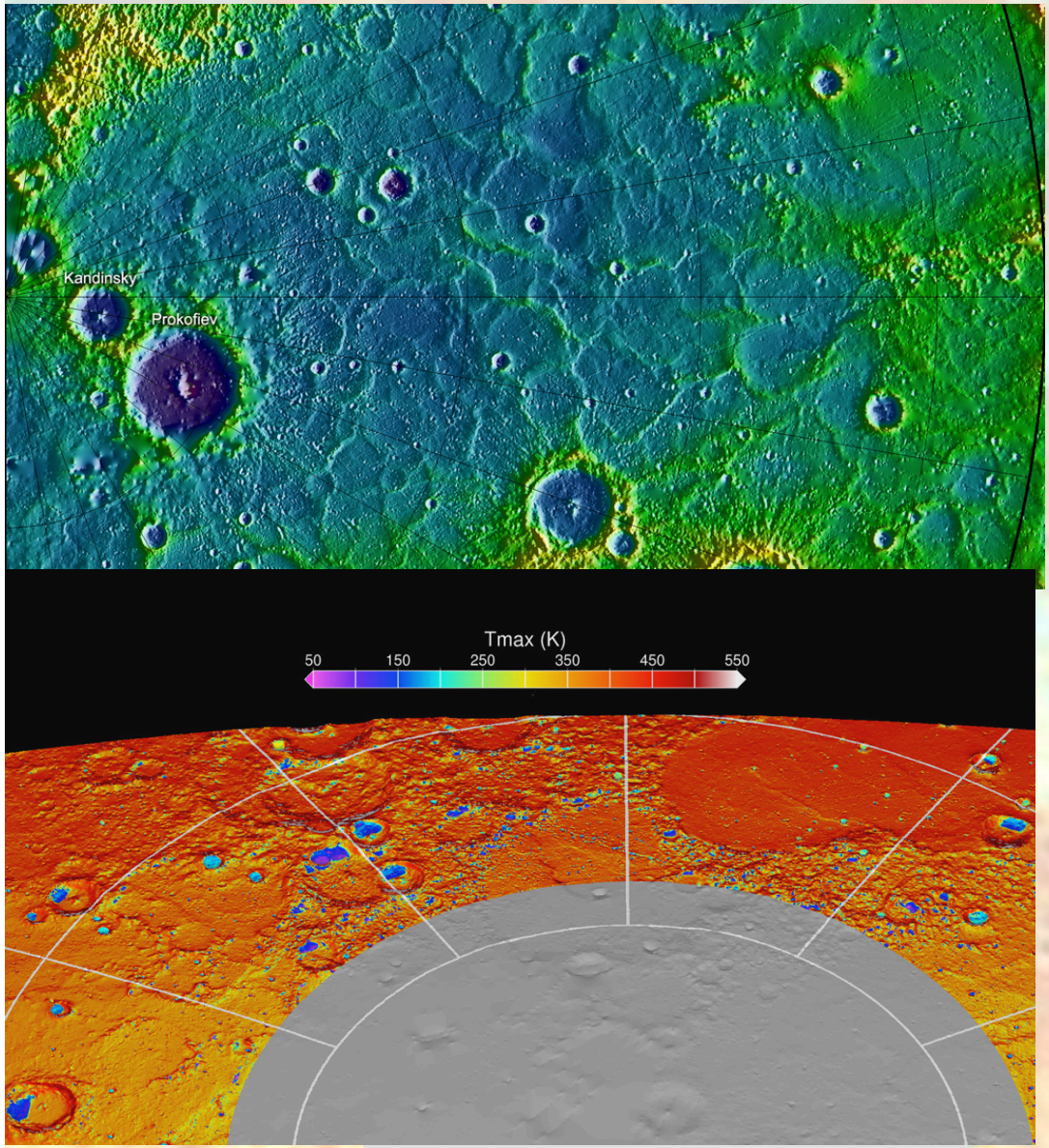
Mercure: planète atypique et mystérieuse



Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Différents types de mesure (T°, images, laser, albédo…) démontrent l'existence de glace d'eau au fond des cratères polaires

Mercure: planète atypique et mystérieuse

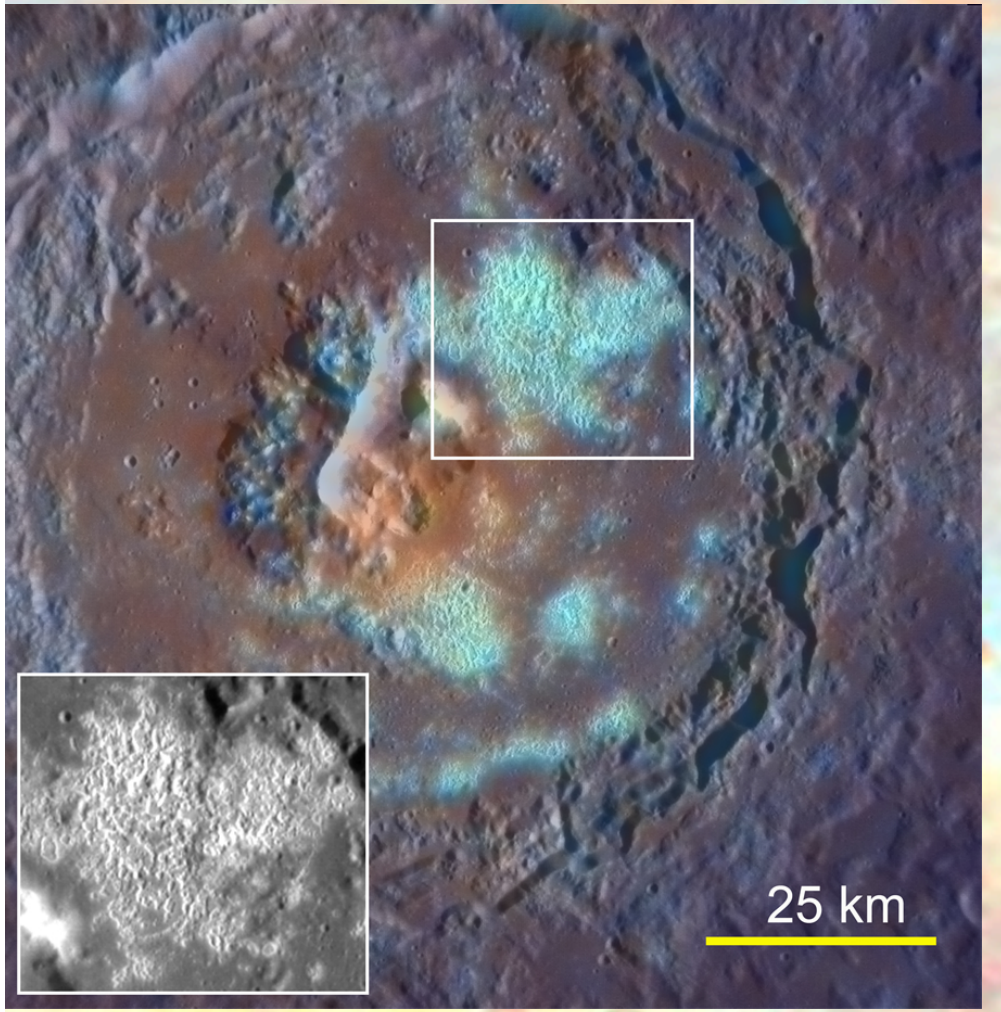


Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Différents types de mesure (T°, images, laser, albédo…) démontrent l'existence de glace d'eau au fond des cratères polaires

Quelle est l'origine de cette glace?

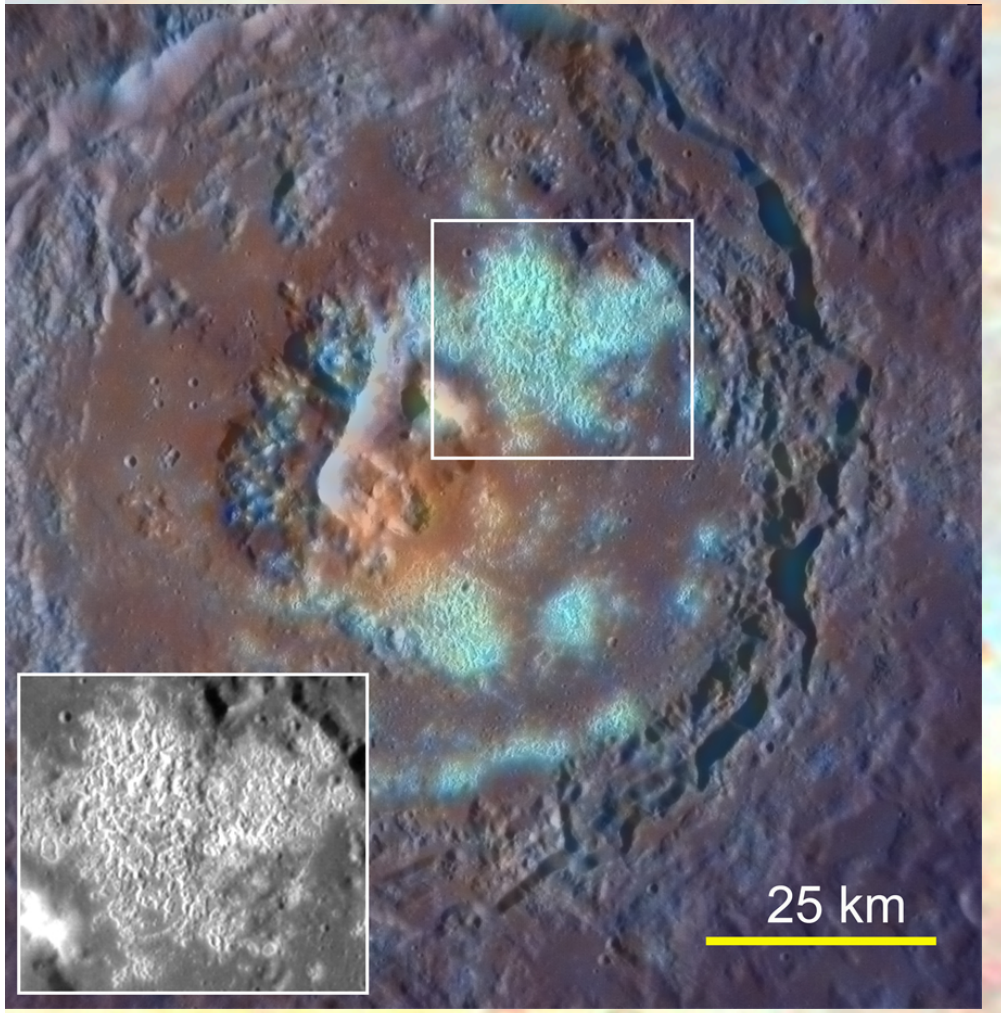
Mercure: planète atypique et mystérieuse



Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Le mystère des "hollows"
Zones brillantes et bleues trouvées au fond de certains cratères

Mercure: planète atypique et mystérieuse

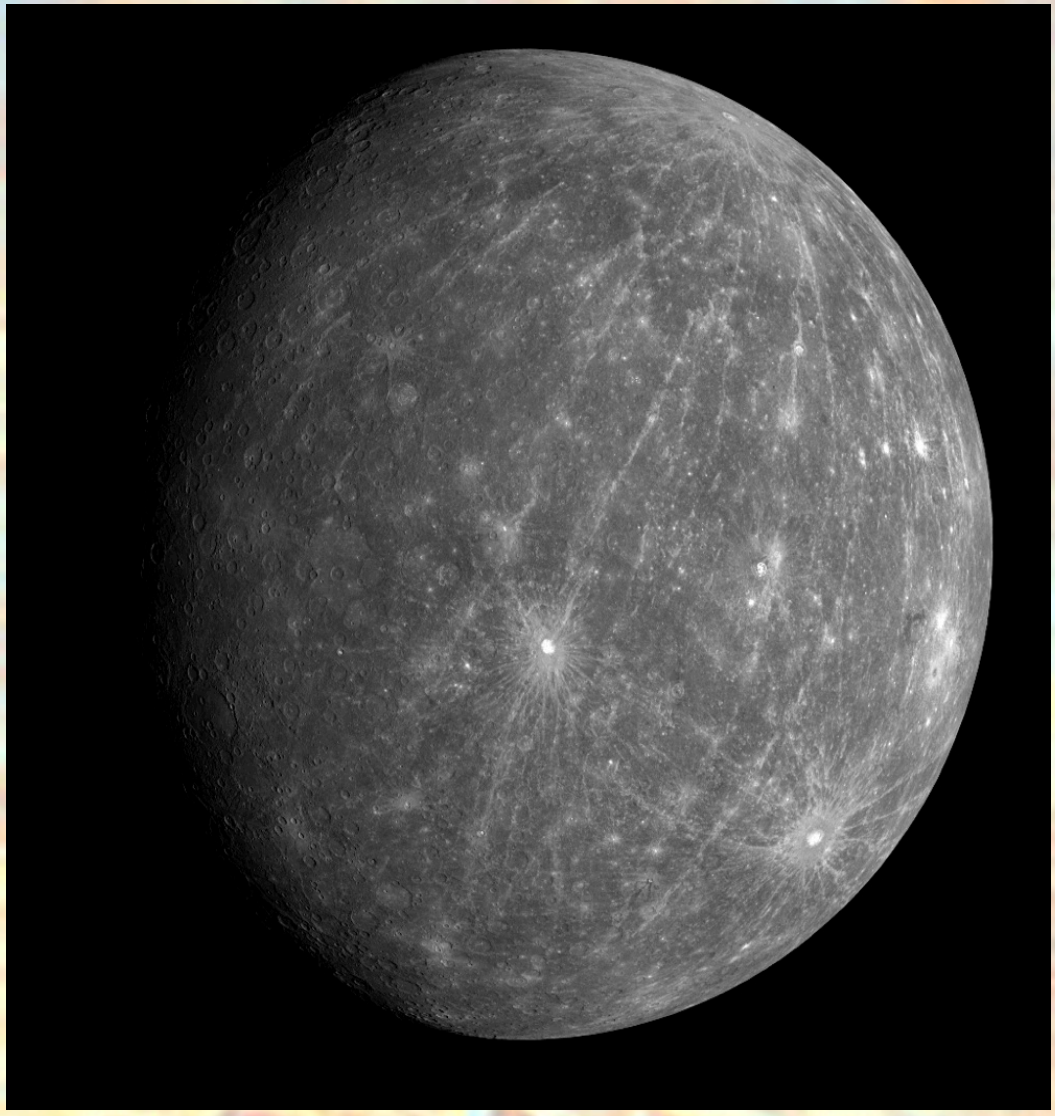


Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Le mystère des "hollows"
Zones brillantes et bleues trouvées au fond de certains cratères

Quel es le processus de formation de ces structures?
Et quelle est la nature de ce matériau?

Mercure: planète atypique et mystérieuse

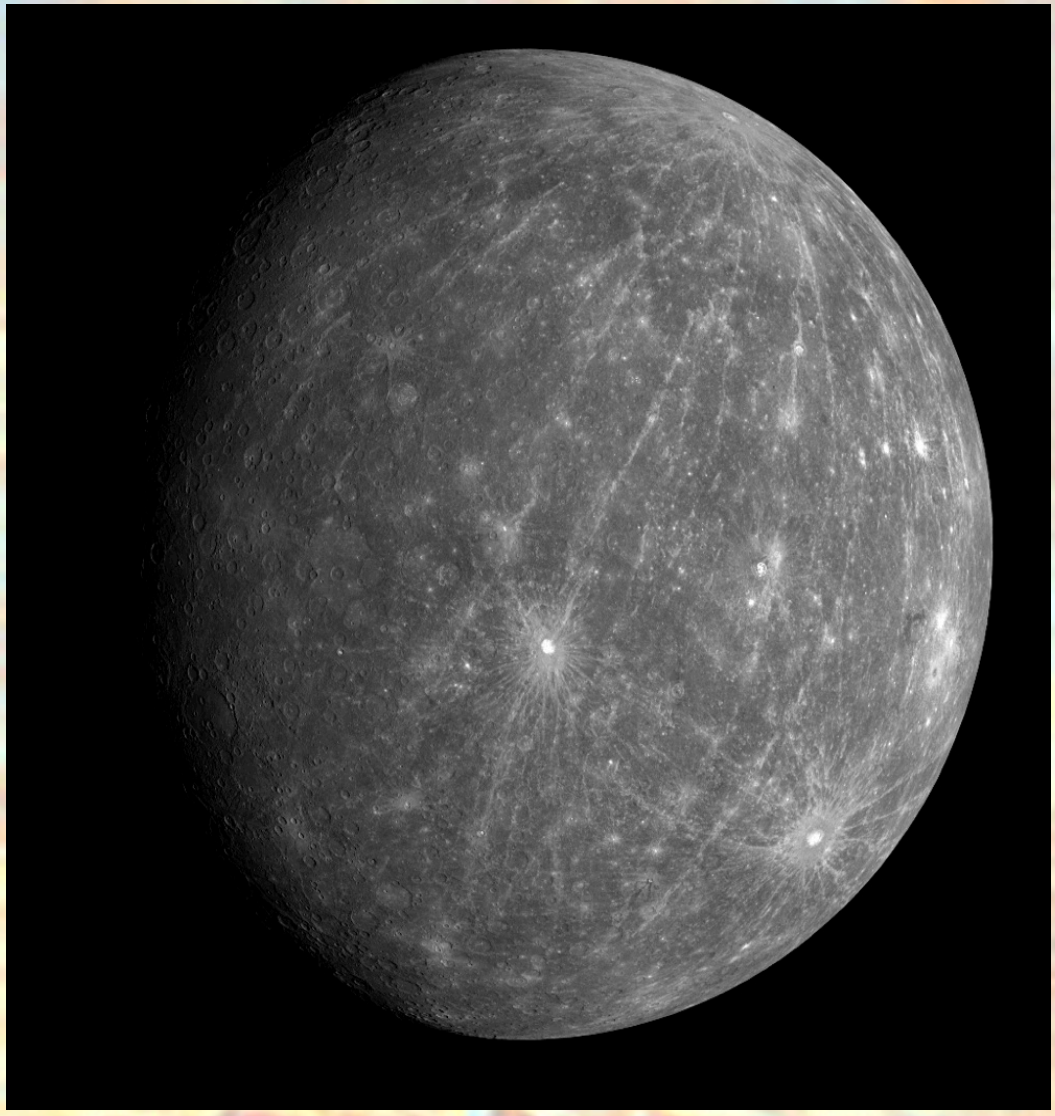


Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Mercure est plus sombre que la lune, plus sombre que ne le laisse penser sa supposée composition!

Messenger suggère du carbone sous forme de graphite

Mercure: planète atypique et mystérieuse



Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Mercure est plus sombre que la lune, plus sombre que ne le laisse penser sa suposée composition!

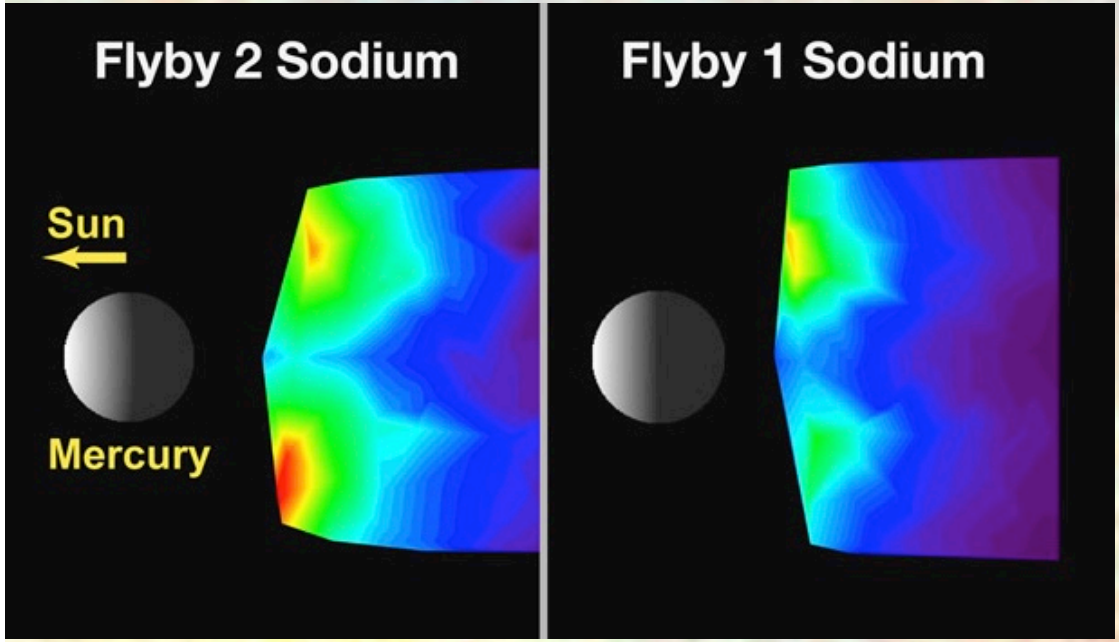
Messenger suggère du carbone sous forme de graphite

Quelle est l'origine de ce carbone?

- *apport extérieur (comètes)*
- *Une croûte fossile ?*

Mercure: planète atypique et mystérieuse

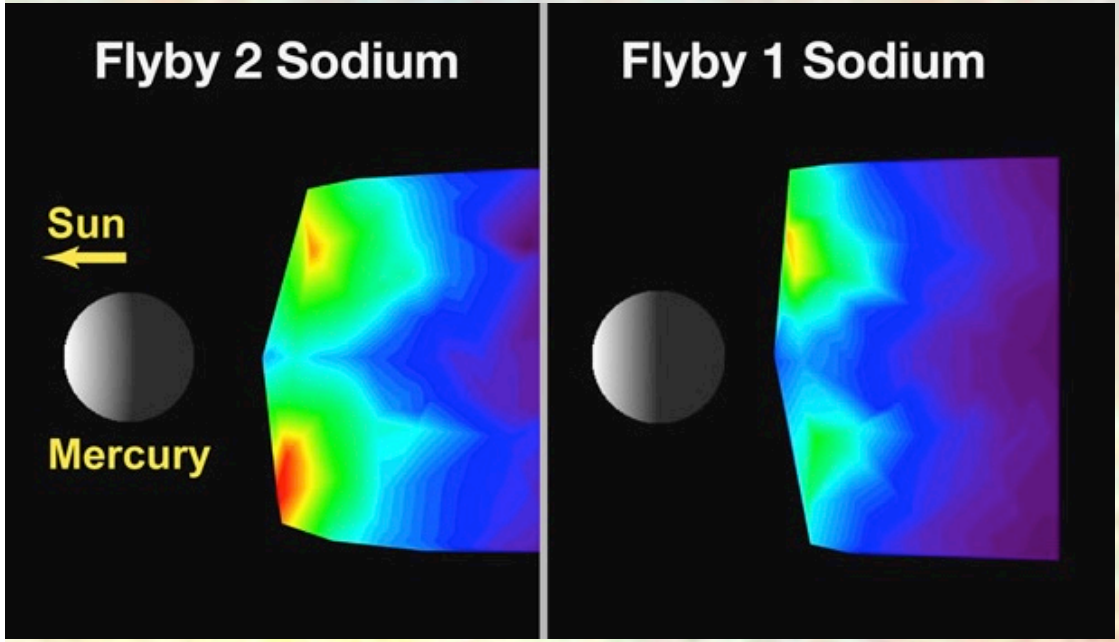
Une atmosphère extrêmement ténue (10^{-12} bars)
O_2(42%), Na(29%), H(22%), He(6%)
Variations temporelles et spatiales.



NASA/APL/Carnegie

Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Mercure: planète atypique et mystérieuse

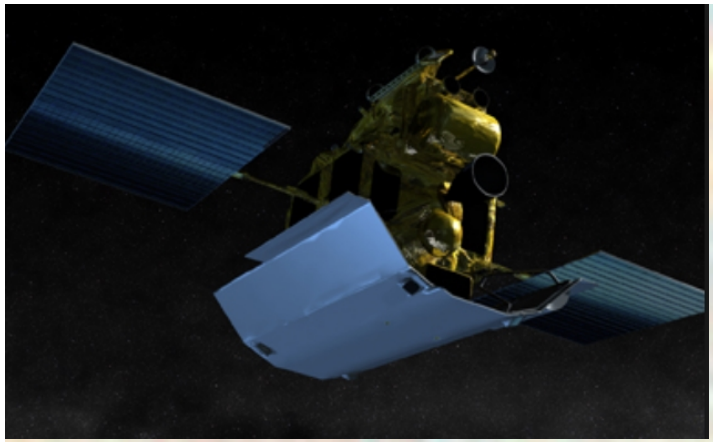


NASA/APL/Carnegie

Credit: NASA/The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

Une atmosphère extrêmement ténue (10^{-14} bars)
O_2(42%), Na(29%), H(22%), He(6%)
Variations temporelles et spatiales.

Processus à l'œuvre ?
Inventaire des volatiles
Relations surface/exosphère/ magnétosphère

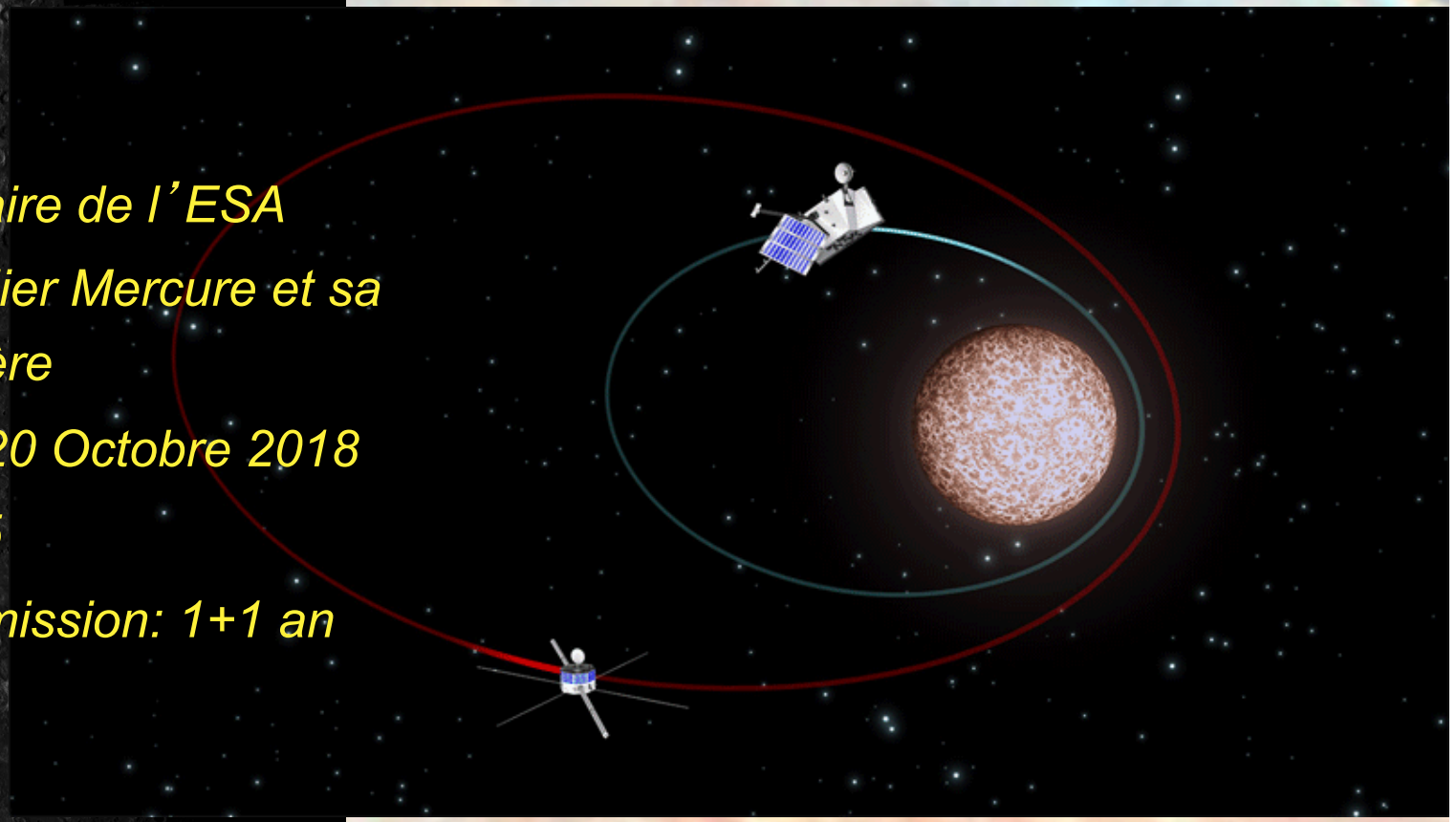


Après Messenger…

…bientôt BepiColombo

BepiColombo: 2 sondes

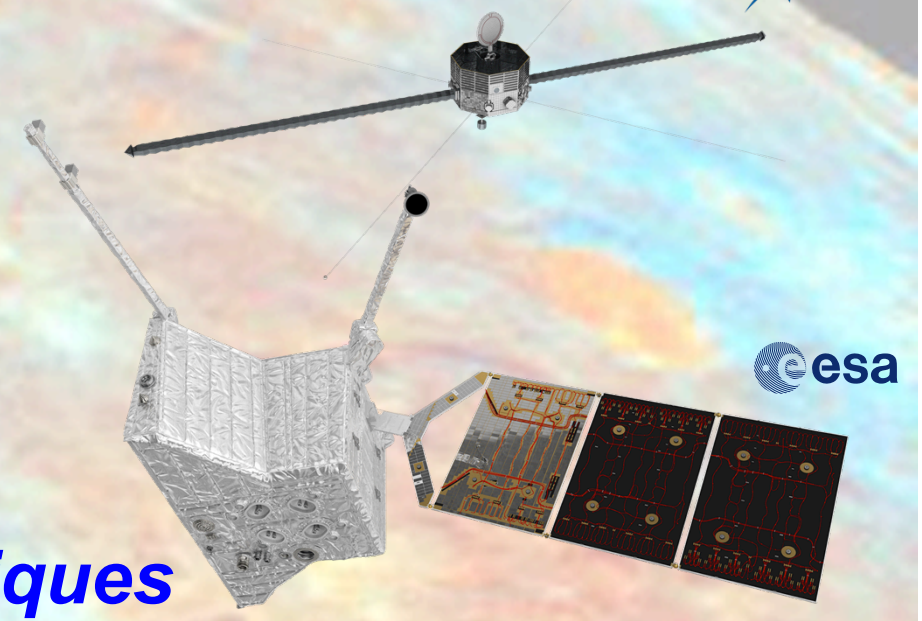
- *Pierre Angulaire de l'ESA*
- *Objectif: étudier Mercure et sa magnétosphère*
- *Lancement: 20 Octobre 2018*
- *Arrivée: 2025*
- *Durée de la mission: 1+1 an*



MERCURE: LES OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

- **Etude d'une planète proche de son étoile.**
- **Etude des processus à la surface**
  - **Cratères, volcanisme, viellissement, glaces polaires**
- **Etude de l'exosphère, dynamique et évolution.**
- **Etude du champ magnétique, la magnétosphère et son interaction avec le vent solaire.**
- **Etude de la structure interne et composition.**
- **Tester la relativité générale, avec une précision inégalée.**

Une mission avec de multiple défis !



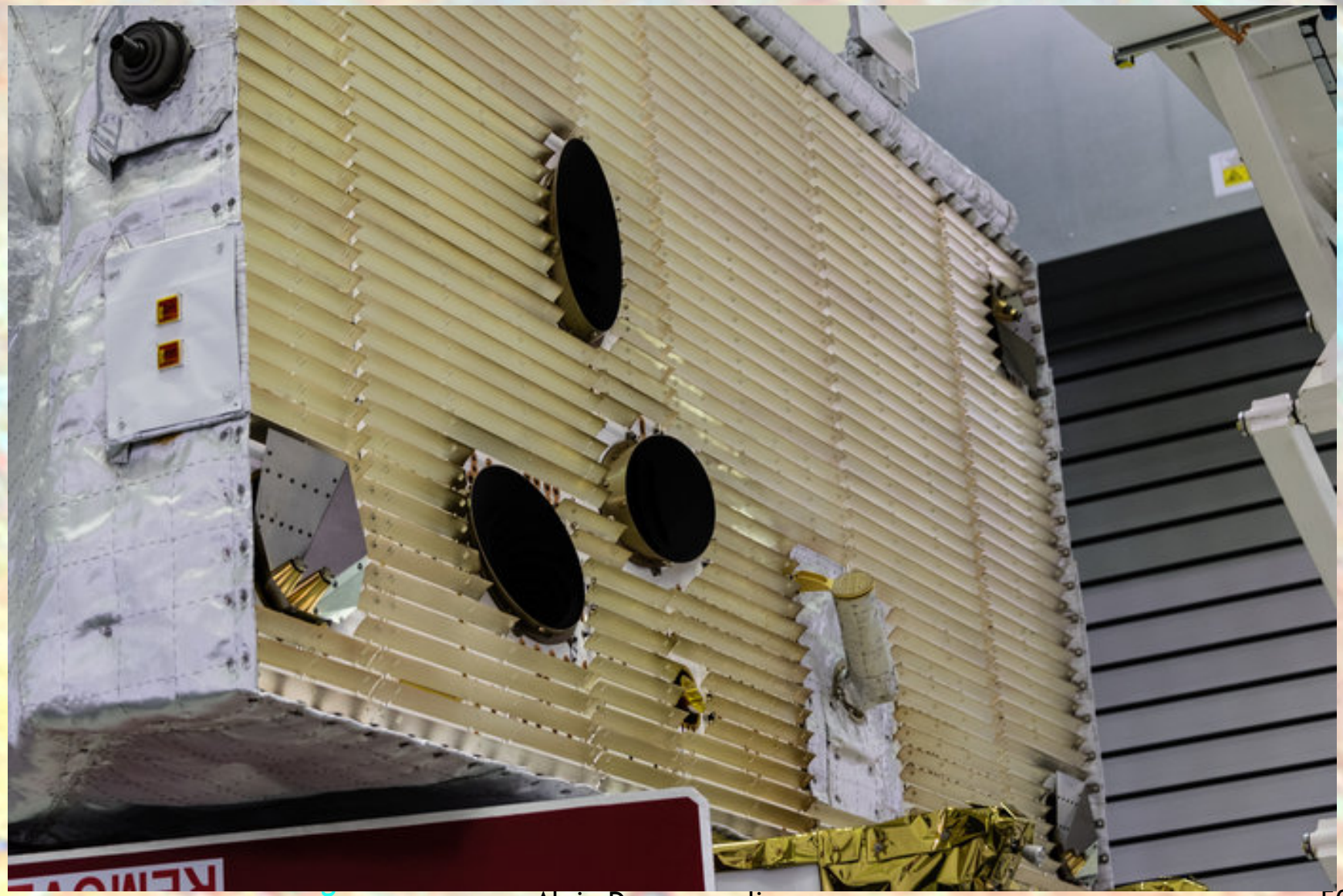
Principaux besoins

- *Une sonde double*
- *Couverture globale => pointage nadir*
- *Haute résolution => orbite basse*

Principaux Défis technologiques

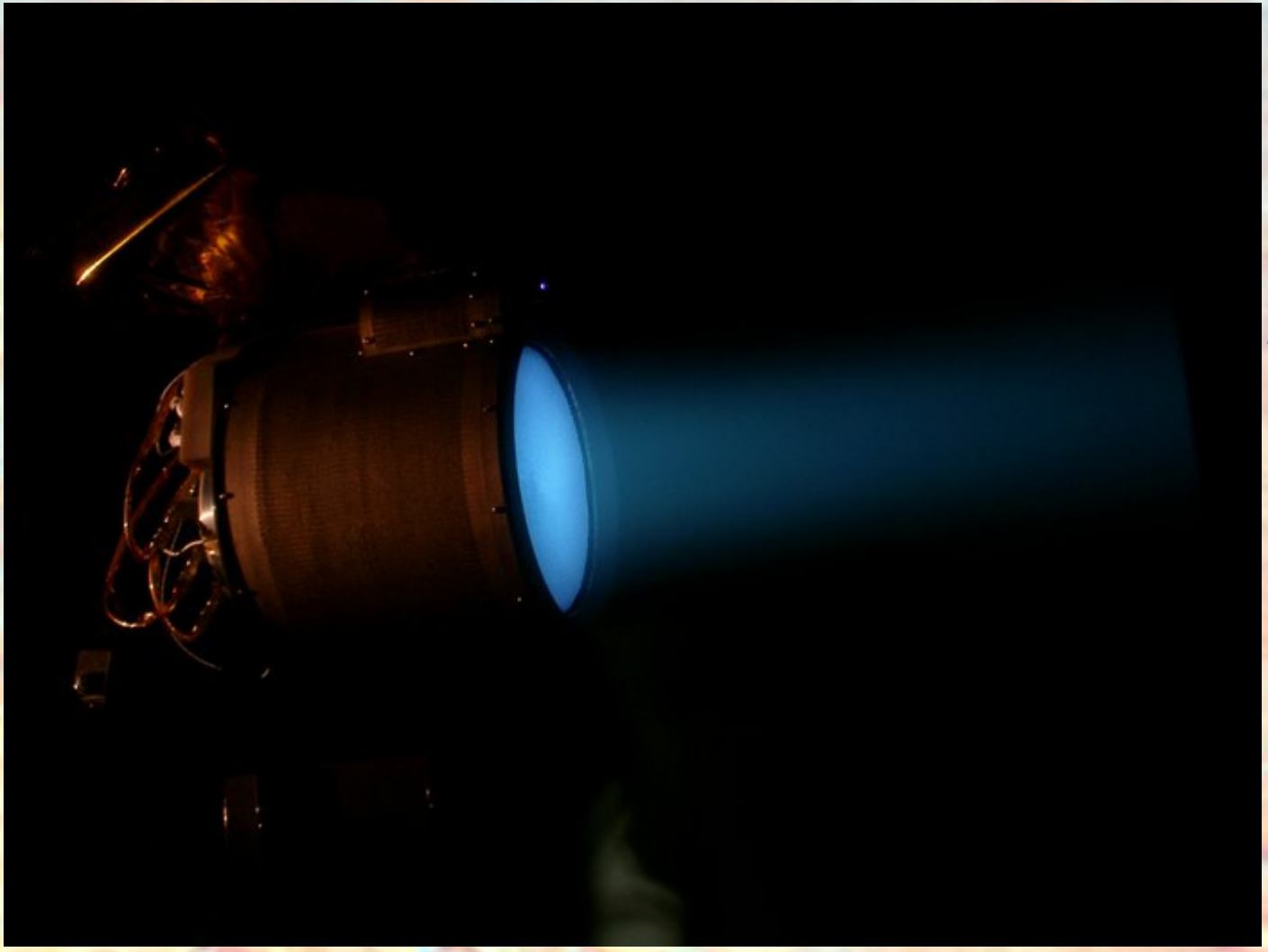
- *10 fois la constante solaire et une température de surface de 430°C*
- *5/6 faces du vaisseau et des antennes en plein Soleil ou IR de Mercure*
- *Beaucoup d'énergie nécessaire => assistance gravitationnelle et propulsion ionique*
- *Forte proportion de nouveaux équipements à développer*
- *3 vaisseaux à gérer et très peu de marge pour la masse*

Le radiateur



L'isolation multicouche (MLI)

Propulsion ionique

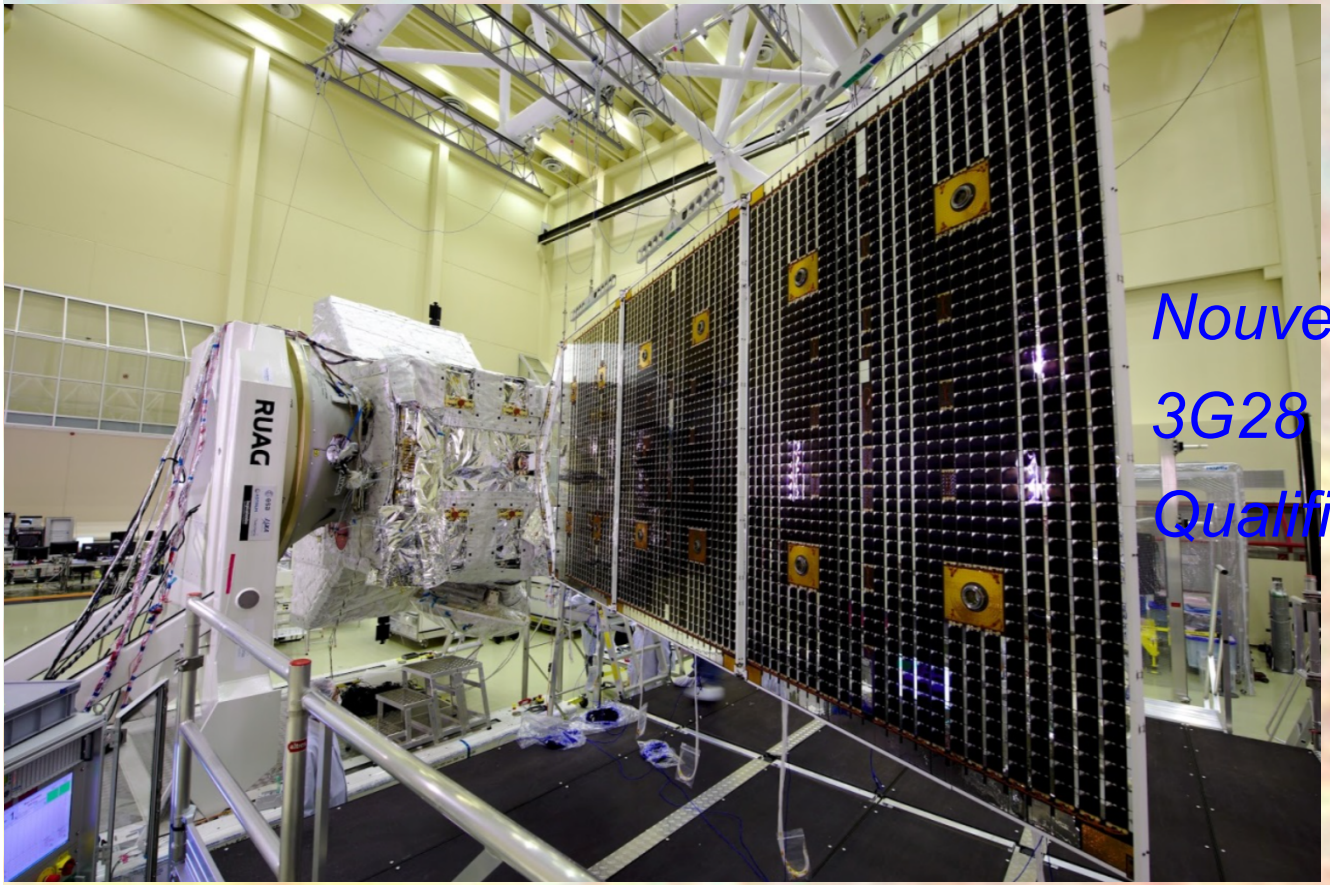


Un des quatre moteurs ioniques de BepiColombo

587 kg de Xenon

Image QinetiQ

Panneaux solaires



Nouvelles technologies

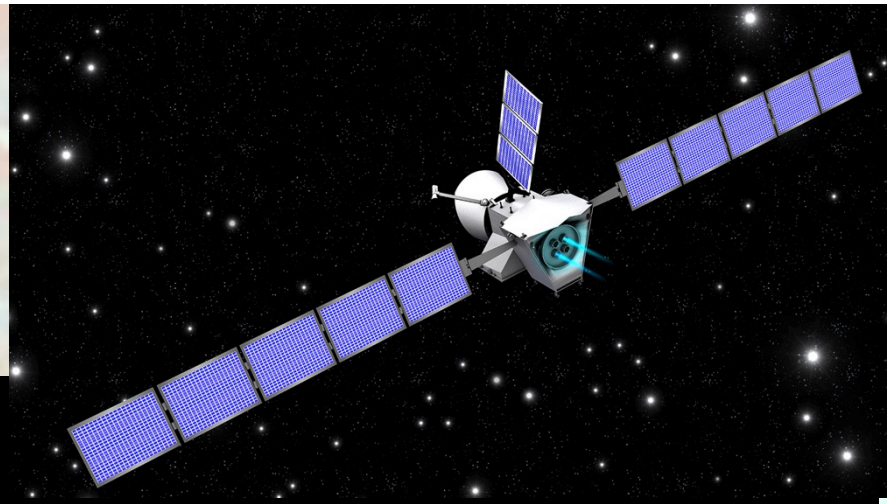
3G28 GaAs Triple-junction

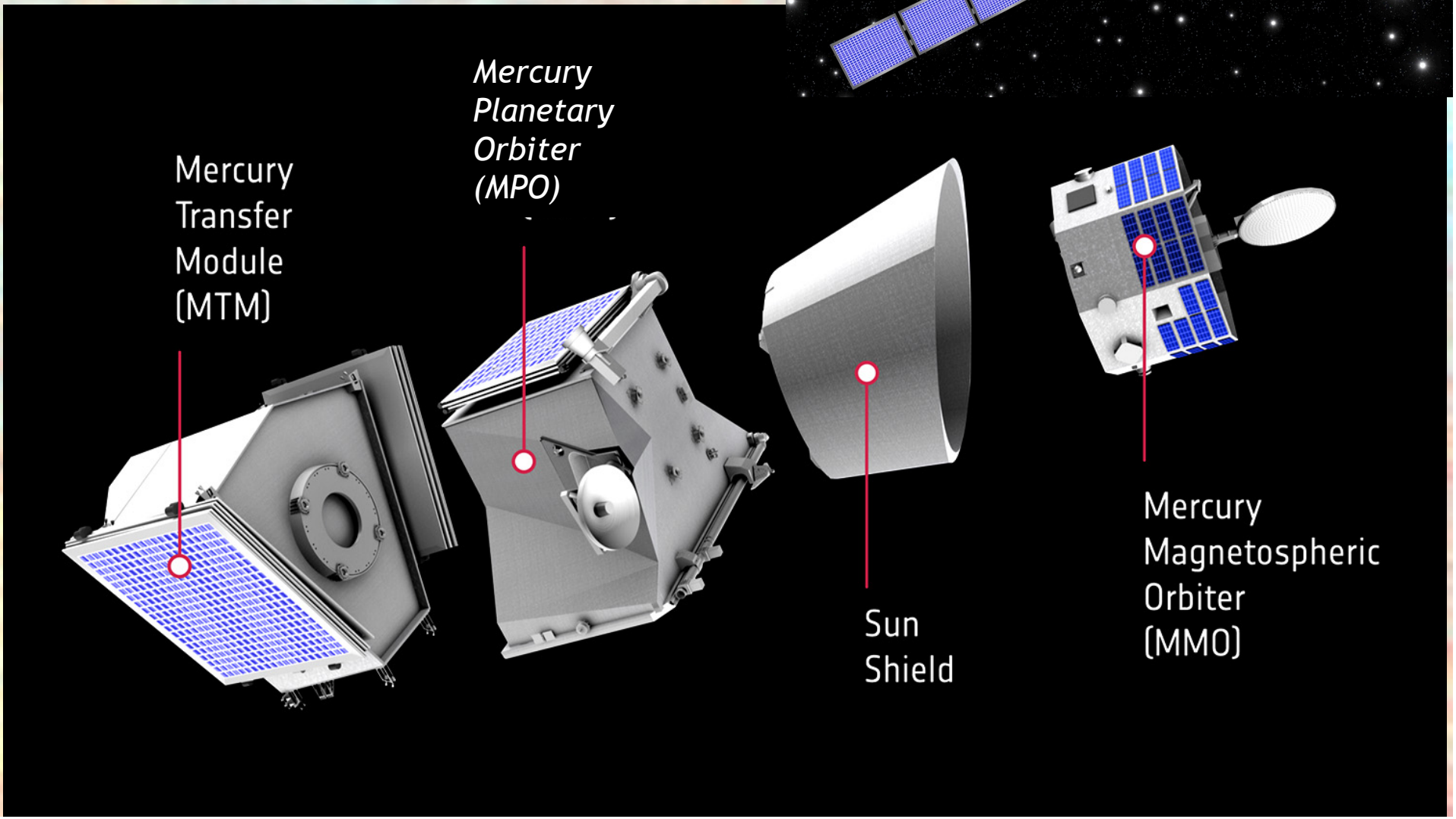
Qualifié à 230°C

Image ESA

BepiColombo

Configuration de croisière du vaisseau composite (4 modules)
Masse totale au lancement: 4100 kg



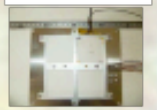


Le scénario de mission

Une panoplie complète d'instruments

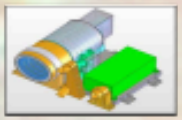
MPPE

MDM



MORE

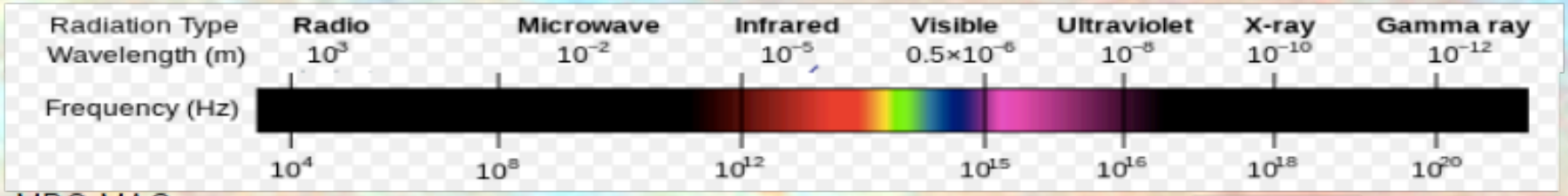
SIMBIO-SYS



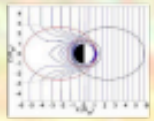
PHEBUS

SIXS

MGNS

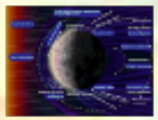


MPO-MAG
MMO-MAG



SERENA

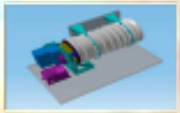
ISA

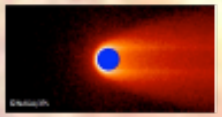


PWI

MERTIS

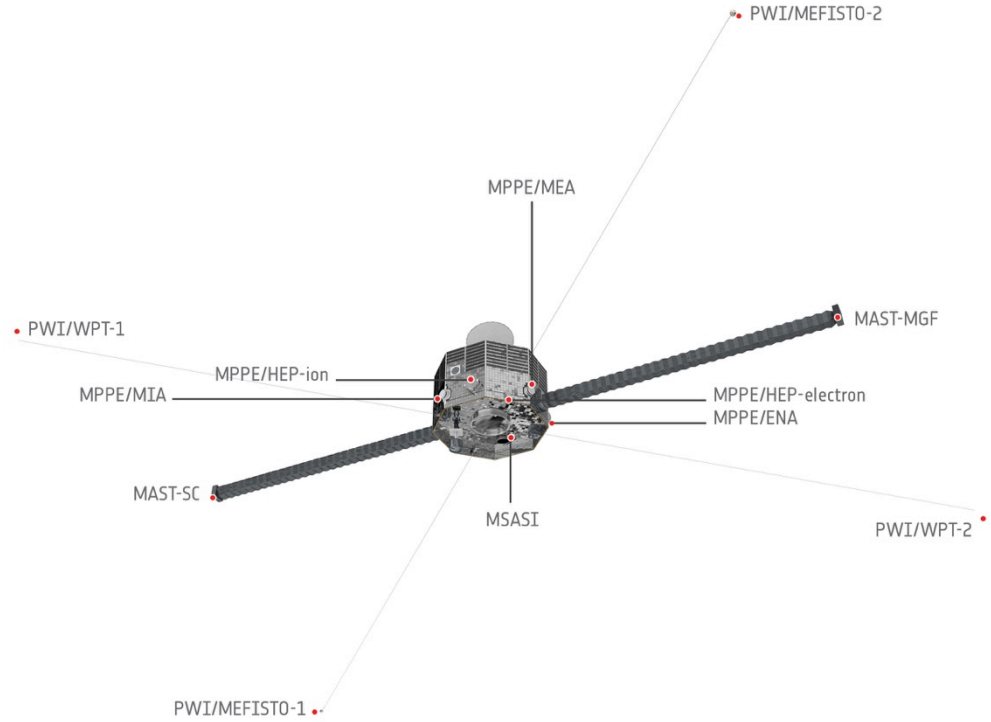
BELA

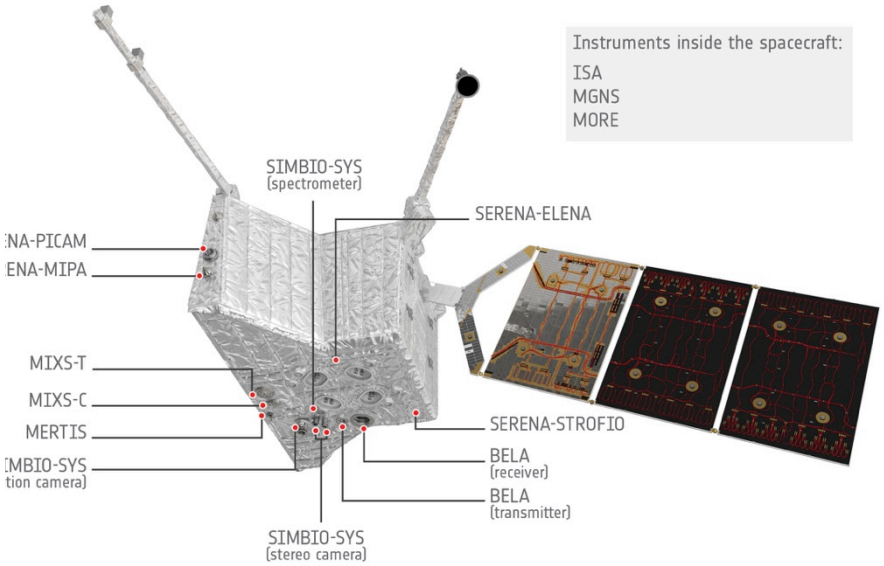


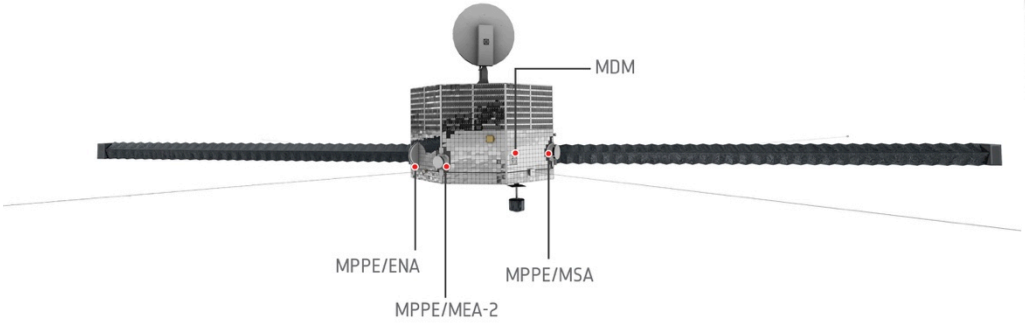


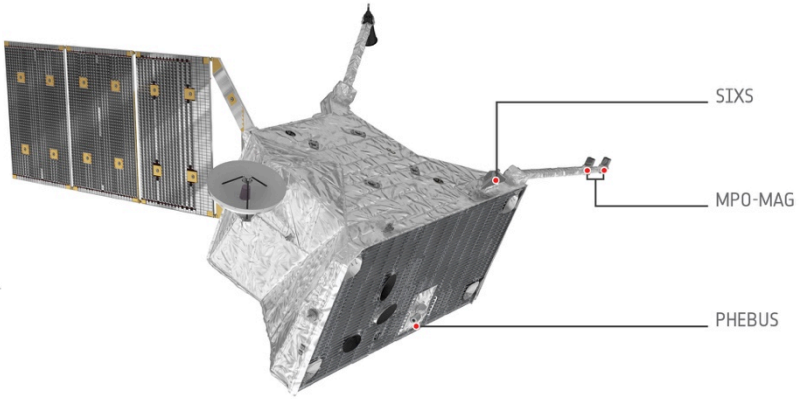
MSASI

MIXS





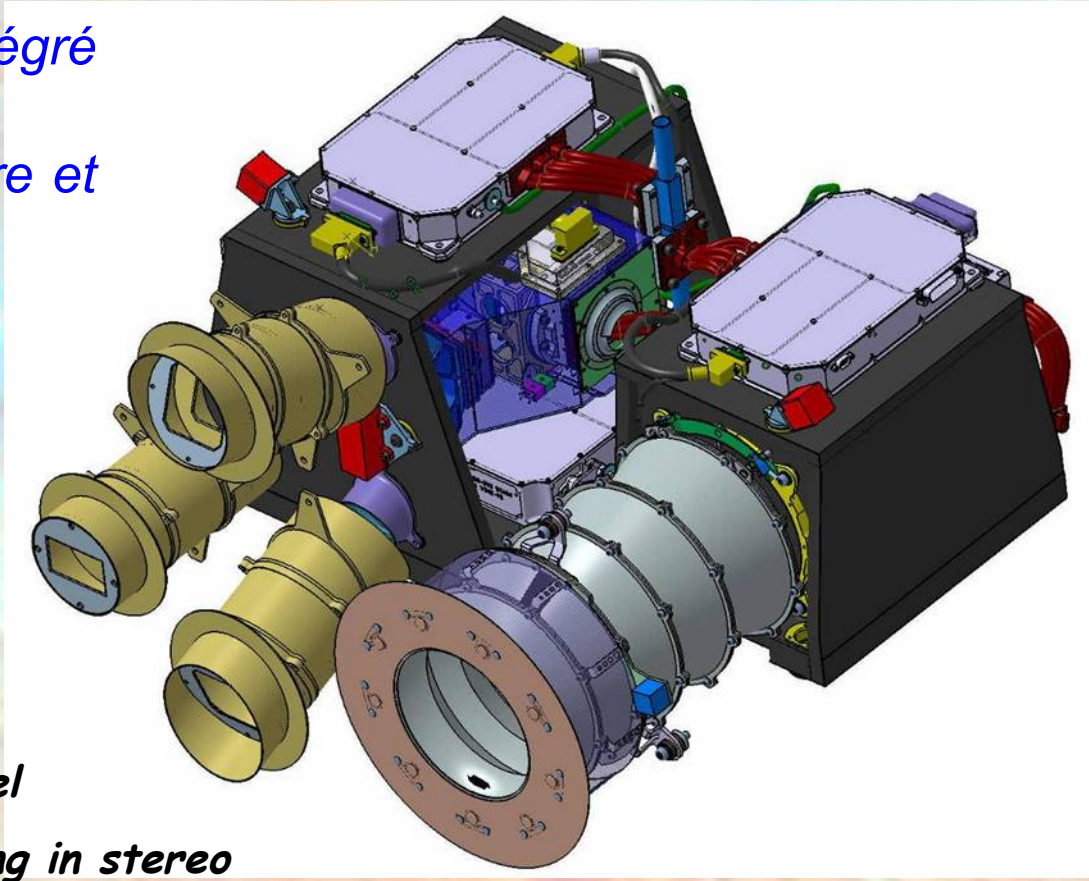




Les instruments

SIMBIO-SYS

SIMBIO-SYS est un système intégré et homogène incluant trois instruments : un spectromètre et deux caméras, et dédié à l'étude de la surface de Mercure.

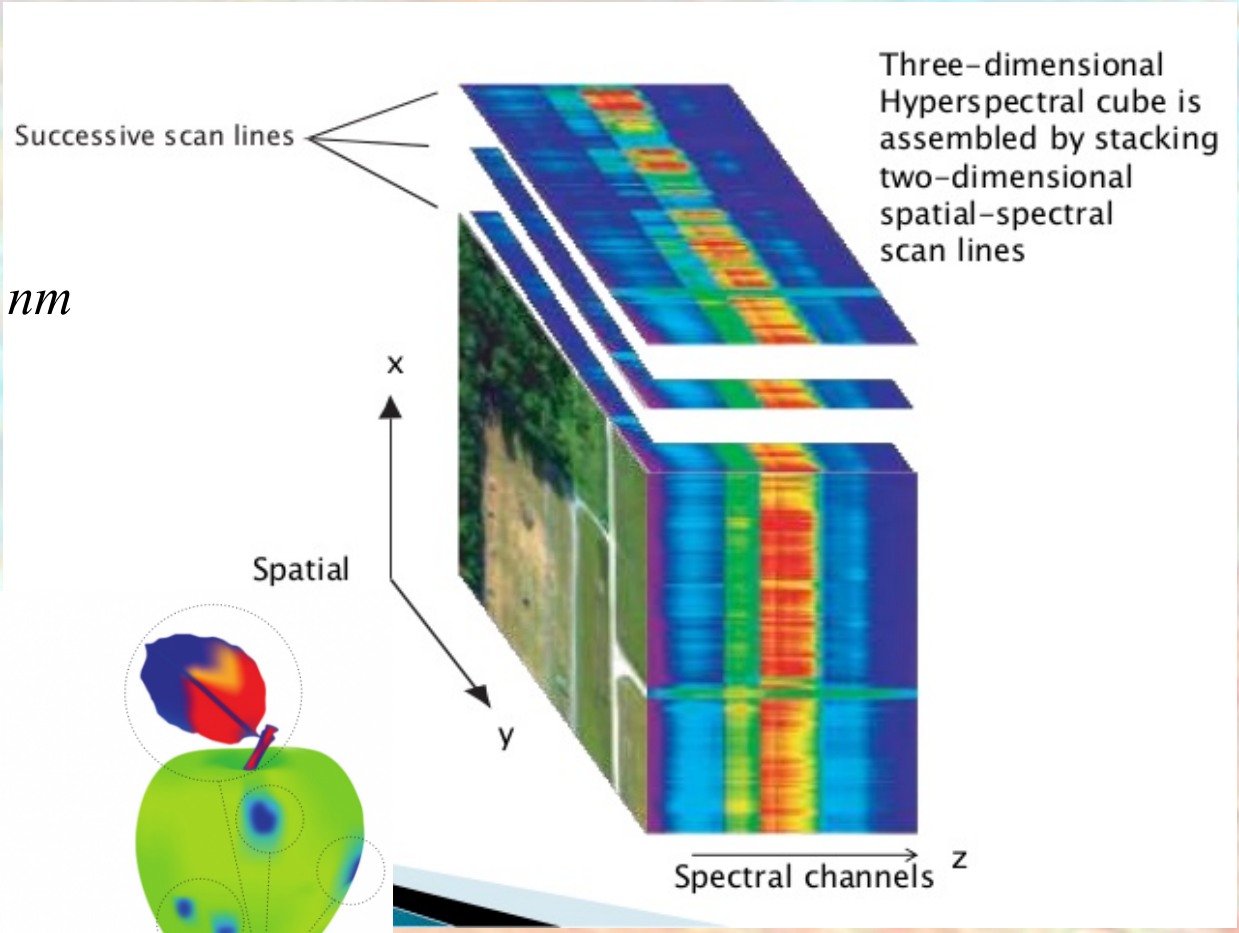


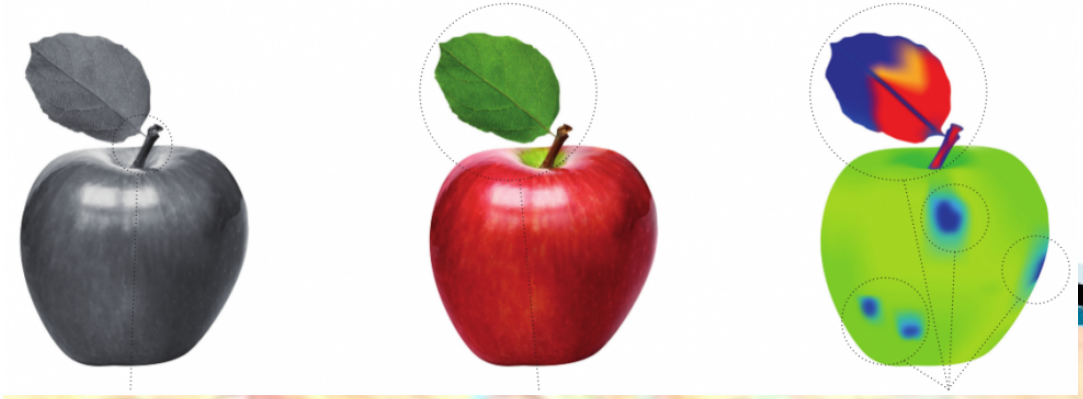
Consortium Italo-Français
PI: Gabriele Cremonese, Italie)

- ***High Resolution Imaging Channel***
- ***STereo Channel : global mapping in stereo***
- ***Visible Infrared Hyperspectral Imager (0.4-2.0 µm)***

VIHI :
Visible-Infrared Hyperspectral Imager

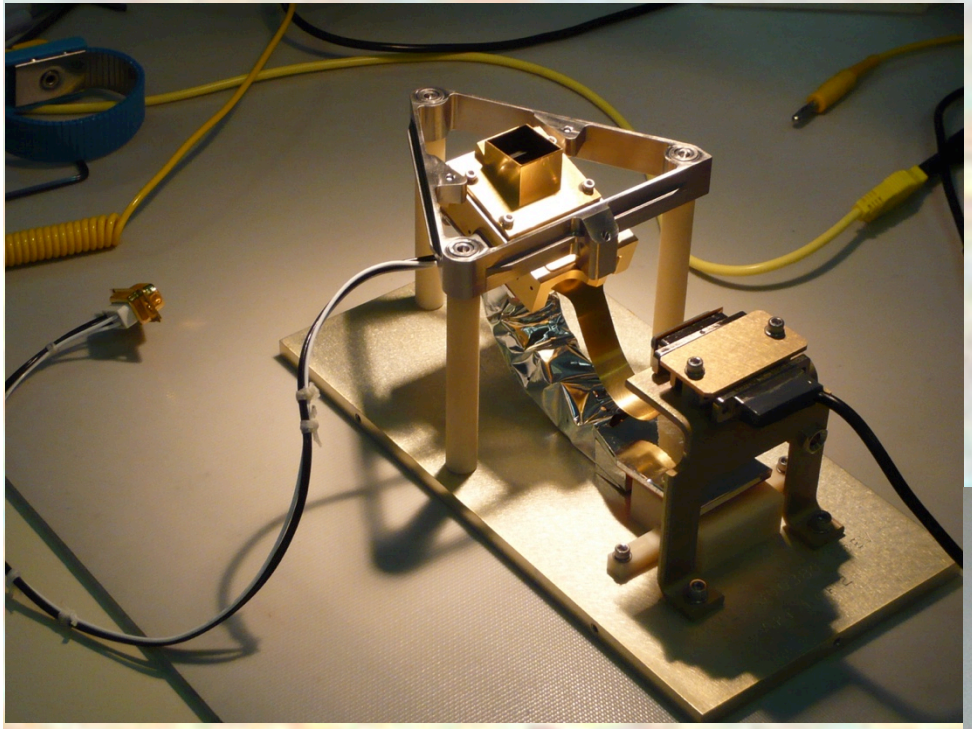
- *256 canaux spectraux*
- *400 – 2000 nm*
- *Résolution spectrale: 6,25 nm*
- *Résolution spatiale: 100m*



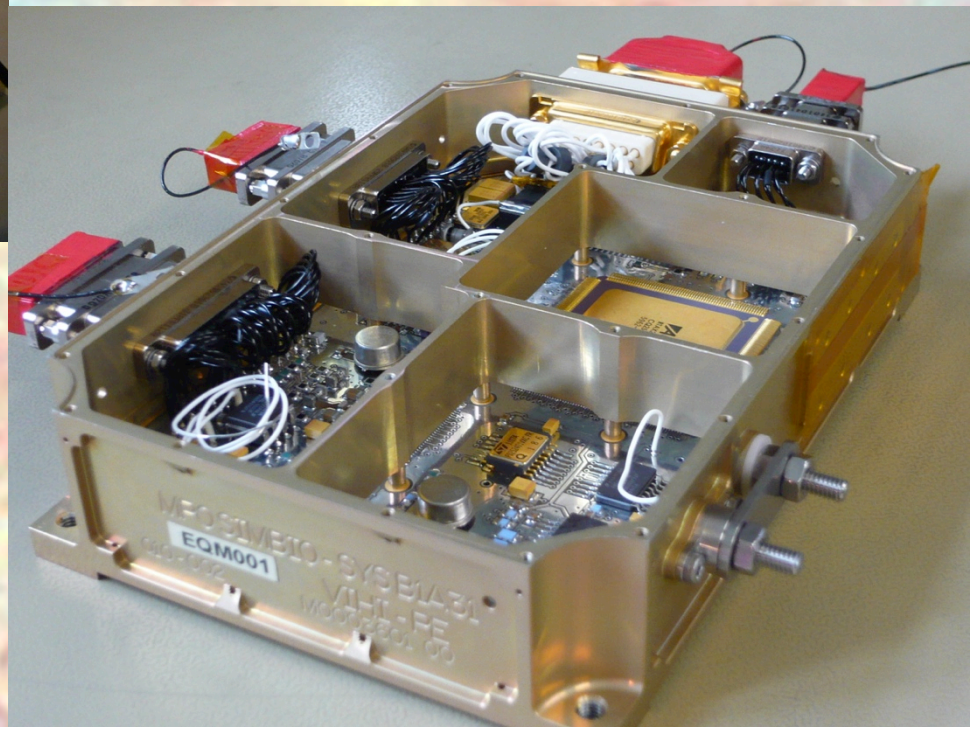


A. Saiteja

Fabrication de l'instrument

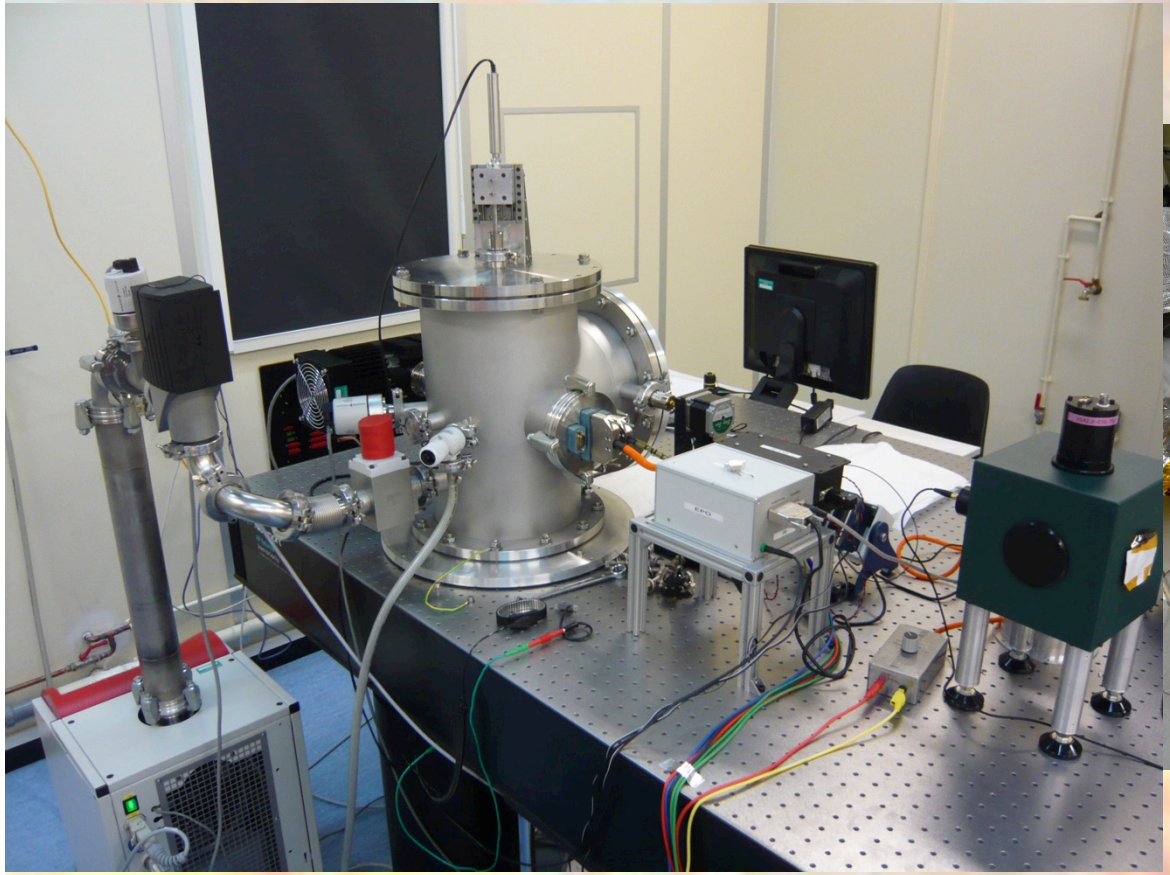


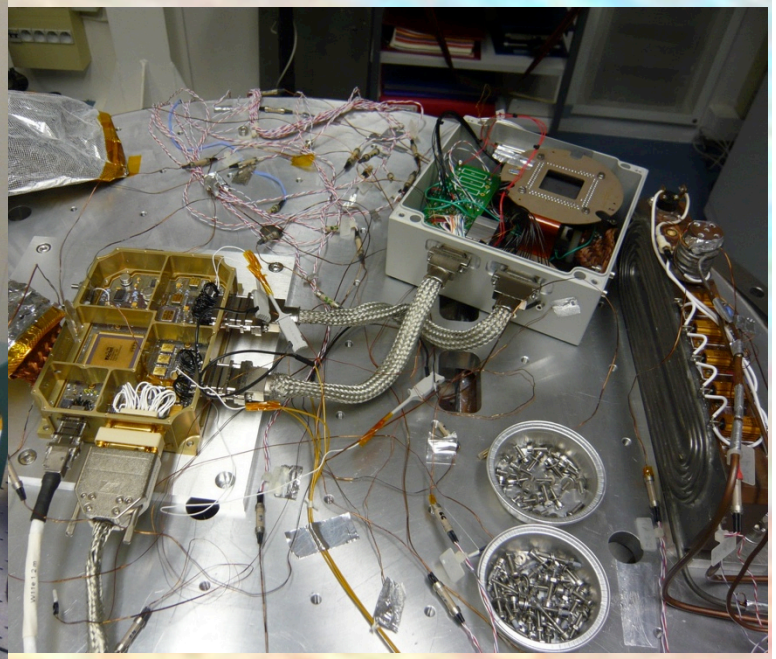
Le détecteur



L'électronique de pilotage

VIHI: Le banc de test

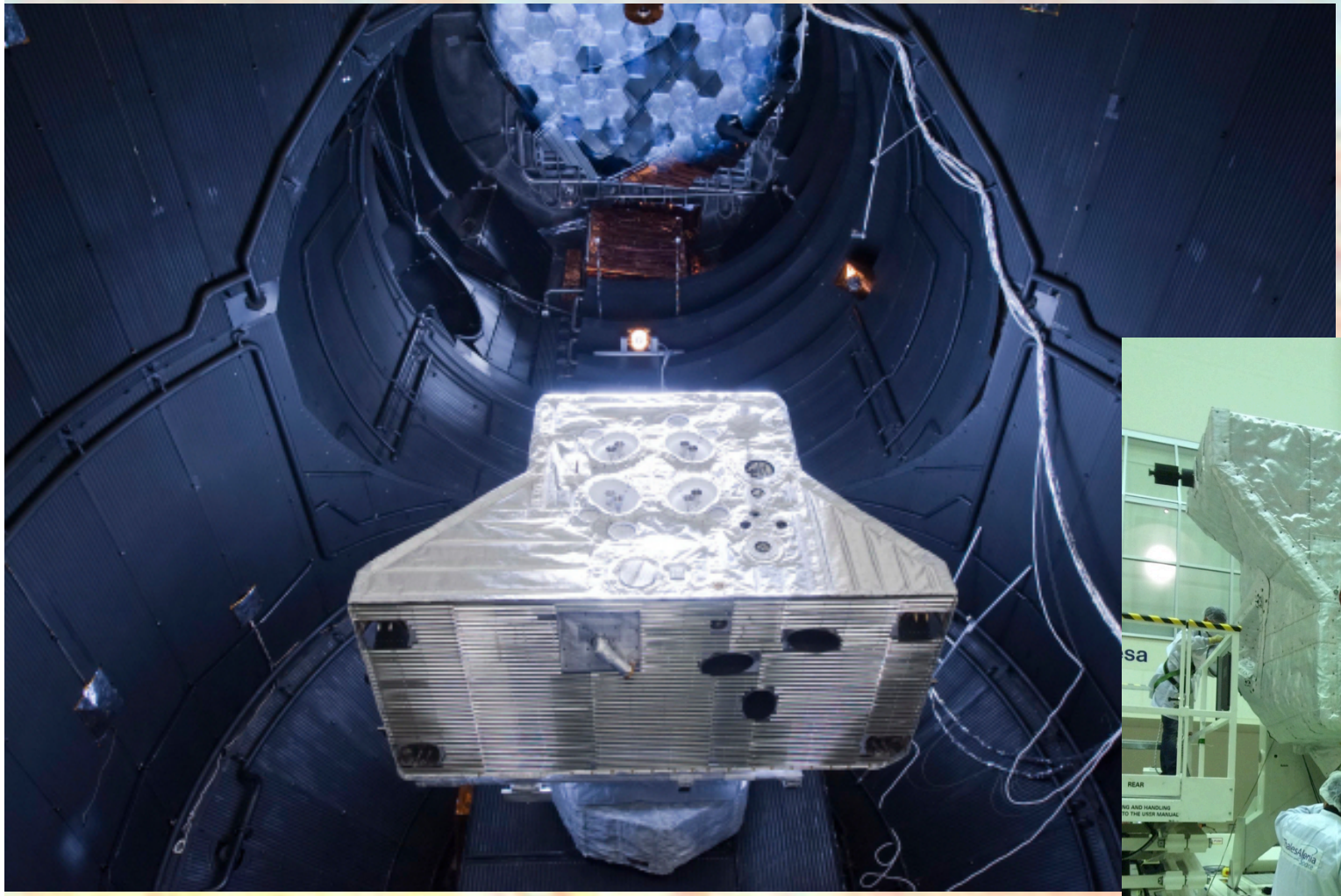




OBAMA

Optical **B**ench for **A**nalysis of **MA**trix

Les tests: la sonde



Estec, juin 2017
0-100 Hz
Amplitude max : 6mm

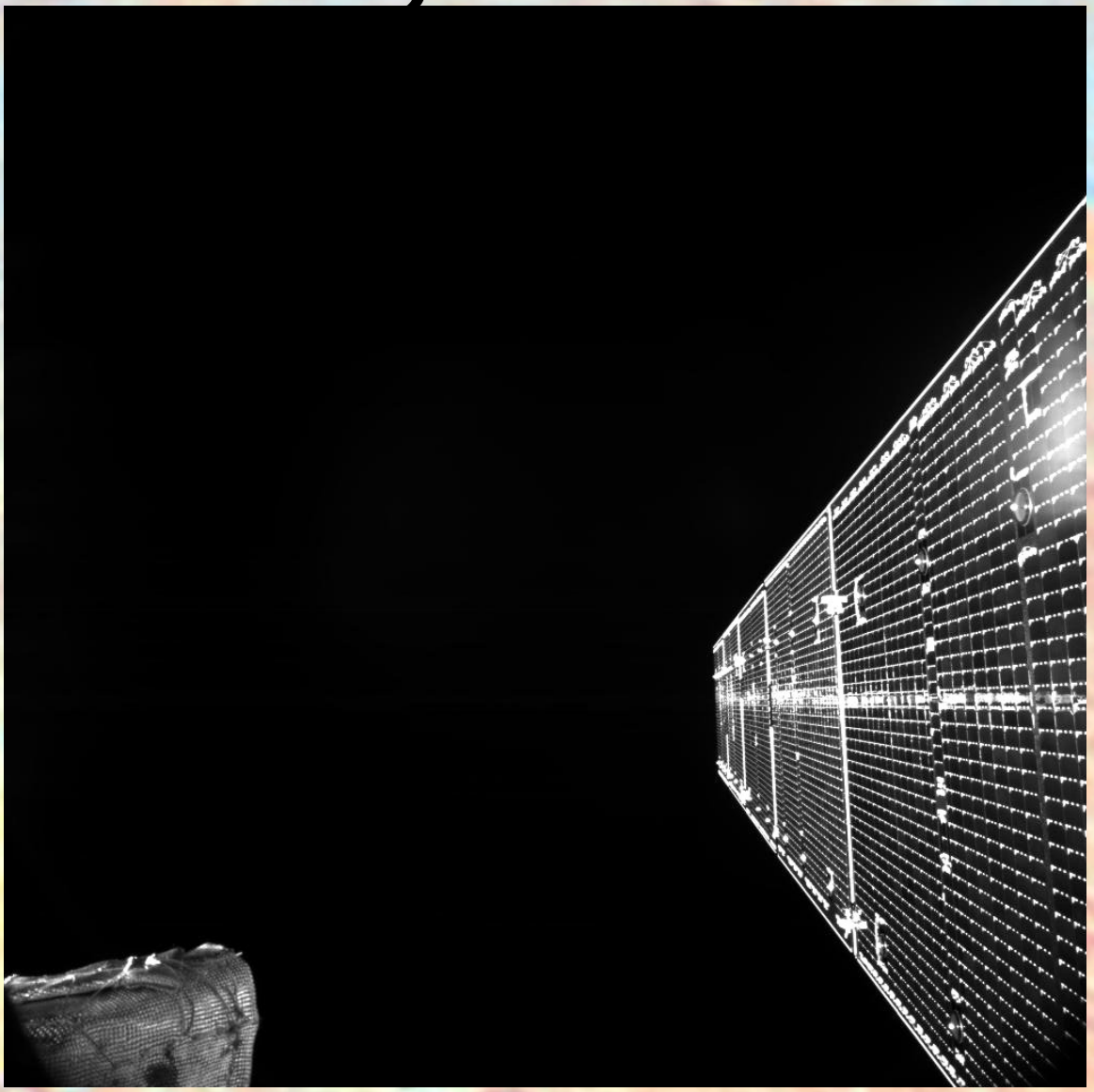
Test en vibration

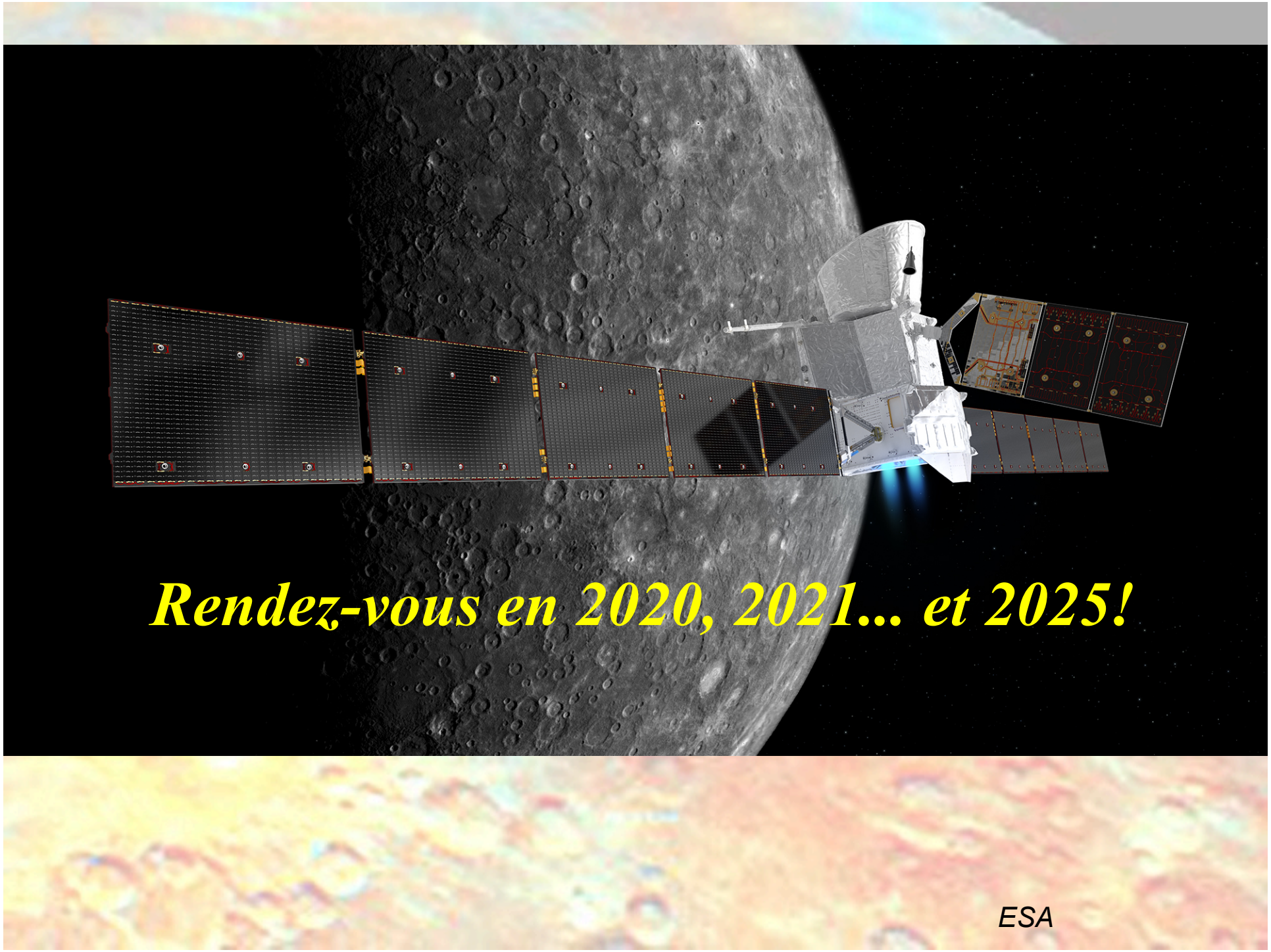
Estec, juin 2017
12 m de chaque coté

Test de déploiement des panneaux solaires

La vidéo officielle

Le premier Selfie!




Rendez-vous en 2020, 2021... et 2025!
ESA

Ressources pédagogiques

Contact:

Alain.Doressoundiram@obspm.fr

Planète Mercure
https://www.planete-mercure.fr
Search
Annuaire de l'Obser...
Parrainages
ULYSSE - Missions
Windows Live Hotmail
Doodle: Programma...
Listes de diffusion d...
http://www.smerep....
Connexion à l'admin...
Enquête sur l'Enseig...
l'Observatoire de Paris
PSL
Planète Mercure
La mission BepiColombo
La planète Mercure dans les classes
Ce site regroupe beaucoup de ressources utilisables en classe (tous niveaux), pour que les élèves étudient l'espace, l'exploration spatiale et ses métiers, avec Mercure et la mission spatiale BepiColombo comme sujets principaux, avec ou sans accompagnement d'un chercheur.

l'Observatoire de Paris

Unité Formation et Enseignement

PARRAINAGES DE CLASSES PAR DES ASTRONOMES

Professeurs des écoles, collèges et lycées

Demandez un «parrain» ou une «marraine», astronome de l'Observatoire de Paris pour vous conseiller et vous accompagner dans votre projet centré sur l'astronomie.

Apprendre **Observer**

Se questionner **Expérimenter**

Exemples de parrainages :

- 3ème, Collège Notre Dame Des Anges, Faaa (Polynésie Française) (98702) : Maquette du système solaire
- Grande Section, Ecole Maternelle Les Eaux Vives, Bievres (91570) : Le soleil a rendez vous avec les lunes
- CM2, Ecole Élémentaire Le Moulin De Pierres, Clamart (92140) : Un planétarium pour ma ville
- 2nde, Lycée Raoul Follereau, Nevers (58000) : Galilée ou des lunettes pour l'Humanité
- 4ème, Collège Jean Moulin, Berck-Sur-Mer (62603) : Voyage dans le système solaire

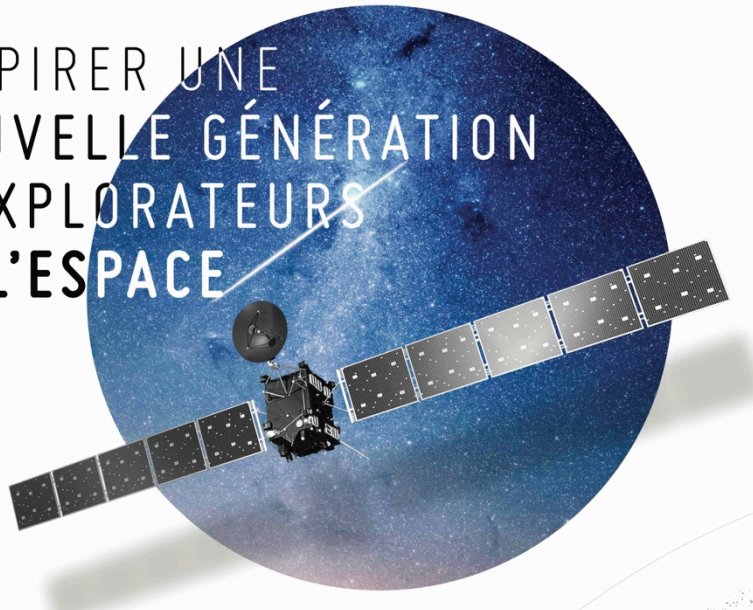
parrainages@obspm.fr
http://parrainages.obspm.fr/

http://ufe.obspm.fr/

UFE

SPACE awareness

INSPIRER UNE NOUVELLE GÉNÉRATION D'EXPLORATEURS DE L'ESPACE



01 **Ressources gratuites et de qualité** disponibles dans plusieurs langues pour encourager l'utilisation de l'espace dans l'éducation.

02 Ressources éducatives pour les **enfants, adolescents, professeurs, familles, et médiateurs** scientifiques.

03 Diverses ressources sur les thèmes **« notre merveilleux Univers », « notre fragile planète », « navigation à travers les âges »**, et **contributions du monde musulman** aux sciences modernes.

04 Contacts et activités dans **22 pays** en Europe et en Afrique.

www.space-awareness.org/fr

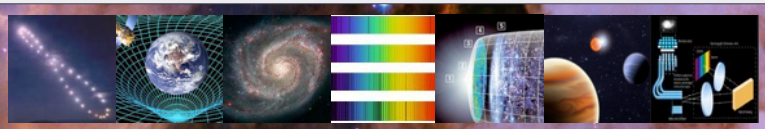
Votre contact en France : l'Observatoire de Paris, alain.doressoundiram@obspm.fr

Space Awareness est financé par la Commission Européenne dans le cadre du programme Horizon 2020, convention n° 638653

Formations en ligne en Astrophysique

L'Observatoire de Paris propose *Astrophysique sur Mesure*, une offre complète de **formations en astrophysique accessibles en ligne par internet**, avec des parcours variés et des modalités adaptées à chacun. Ces formations s'adressent :

- Aux étudiant(e)s qui souhaitent compléter leur licence ou master par un module en astrophysique non disponible dans leur Université
- Aux curieux(ses) d'astronomie souhaitant préciser leurs connaissances
- Aux enseignant(e)s, animateur(rice)s scientifiques qui veulent renforcer leurs connaissances pour les utiliser dans le cadre de leur activité professionnelle.
- Aux ingénieur(e)s qui souhaitent accroitre leurs connaissances par l'étude de l'instrumentation et des méthodes de l'astrophysique.



Diplôme d'Université « Lumière sur l'Univers »

Chaque étudiant(e) est suivi(e) et encadré(e) par un(e) astrophysicien(e). La formation se déroule d'Octobre à Juin chaque année et permet d'obtenir un Diplôme d'Université de l'Observatoire de Paris.

Cette formation propose 7 parcours thématiques en Astronomie, Astrophysique qui abordent les échelles de temps et d'espace, les différents objets de l'Univers des planètes aux grands amas de galaxies, la cosmologie, la mécanique céleste, les phénomènes physiques en jeux qui gouvernent l'évolution des objets, les techniques d'observation, les méthodes de recherche et l'histoire de l'astronomie.

- P1 : Des étoiles aux planètes
- P2 : Cosmologie et Astrophysique extragalactique
- P3 : Mécanique Céleste, Soleil-Terre-Lune
- P4 : Fondamentaux pour l'astronomie et l'astrophysique
- P5 : Fenêtres Sur l'Univers
- P6 : Instrumentation, chaîne de mesure et projets
- P7 : Sciences planétaires

Moocs Massive Open Online Courses

Auto-formation avec travail collaboratif, échanges avec les autres étudiants modérés par des enseignants-chercheurs, avec inscription non nominative, libre et gratuite. Les sessions durent de 1 à 3 mois. Ces formations ne sont pas diplômantes mais peuvent donner droit à une attestation de suivi. 4 Moocs sont ou seront disponibles

- Peser l'Univers (niveau L1)
- Le Soleil (niveau L2)
- Physique de base en astronomie (niveau L2)
- Mécanique céleste (niveau L2)

Ressources Libres

Une série de plus de 80 cours est gratuitement accessible en ligne

- http://media4.obspm.fr/ressources_asm/ : de nombreuses ressources d'astronomie (cours, vidéos, exercices) de tous niveaux.
- http://www.esep.pro/Sciences-pour-les-Exoplanetes-et.html : enseigner les sciences avec les (exo)planètes.

Plus d'informations : http://ufe.obspm.fr/Formations-en-ligne/